FIRST PUBLISHED: **October 2011**

THE COMPLEX SYSTEMS

SLOZHNYE SISTEMY

Interdisciplinary Scientific Journal

October - December **№ 4 (21), 2016**

Editor in Chief Ivanov O.P. **(**MSU, Moscow, Russia)
Deputy chief Editor Knyazeva H.N. (NRU HSE, Moscow, Russia)
Assistant Editor Vinnik M.A. **(**MSU, Moscow, Russia)

Editorial council

Bogolepova I.N. (Research Center of Neurology RAMS, Moscow, Russia);
Gershenson C. (National Autonomous University of Mexico, Mexico);
Gusev N.B. (MSU, Moscow, Russia);
Erdi P. (Center for Complex Systems Studies of Kalamazoo College, Michigan, United States);
Igamberdiev A.U. (Memorial University of Newfoundland, Canada);
Mainzer K. (Munich Center for Technology in Society, Munich, Germany);
Malinetskii G.G. (Keldysh Institute of Applied Mathematics, Moscow, Russia);
Melikhov I.V. (MSU, Moscow, Russia);
Panin V.E. (Institute of Strength Physics and Materials Science, SB RAS, Tomsk, Russia);
Pospelov I.G. (Dorodnicyn Computing Centre, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia);
Hofkirchner W. (Bertalanffy Center for the Study of Systems Science (BCSSS), Vienna, Austria)

Editorial board

Belousov L.V. (MSU, Moscow, Russia); **Bykov V.I.** (R.C.T.U., Moscow, Russia); **Gladkov S.O.** (Schmidt Institute of Physics of the Earth (IPE), Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia); **Golichenkov V.A.** (MSU, Moscow, Russia); **Doronin Yu.K.** (MSU, Moscow, Russia); **Klige R.K.** (MSU, Moscow, Russia); **Kurkina E.S.** (MSU, Moscow, Russia); **Magnitskii N.A.** (MSU, Moscow, Russia); **Melekhova O.P.** (MSU, Moscow, Russia); **Orynbassarov A.S.** (SPA "Innovative nanotechnology of Kazakhstan", Astana, Kazakhstan); **Potapov A.A.** (Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics (IRE), Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia); **Riznichenko G.Yu.** (MSU, Moscow, Russia); **Safyanov G.A.** (MSU, Moscow, Russia); **Surikov V.V.** (MSU, Moscow, Russia); **Chernavskii D.S.** (Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences (LPI RAS), Moscow, Russia); **Chulichkov A.I.** (MSU, Moscow, Russia); **Schaniavskii A.A.** (State Center Air Transport Flight Safety, Khimki, Moscow region, Russia); **Kirilishina E.M.** (MSU, Moscow, Russia; technical editor)

Publishing company: LlC "PRIYATNAYA COMPANIYA", 2010
Federal Service for Supervision in the Sphere of Communications, Information Technology and Mass Communications (Roskomnadzor)
Certificate of registration of mass communication media ПИ No. ФС77-42729 as of November 25, 2010
ISSN No. 2220-8569

Sent for the press 20.12.2016. Format 60×88 1/8. Circulation 100. Publishing company: LlC "PRIYATNAYA COMPANIYA" Address of Editorial office: Stromynka Street, 19/2, Moscow, 107076, Russia. Postal address: Maria A. Vinnik, p/b 41, Moscow, 105318, Russia Tel./Fax: +7(495) 978 62 99 *http://www.slozhnye-sistemy.ru;* E-mail: *mail@vinnik.ru* Subscription index in the integrated catalog "Press of Russia" 88852
Frequency: Quarterly

Typography: LLC "Agromashpro", 5/2, alleya Zhemchugovoy, Moscow, 111402, Russia, http://www.agromashpro.ru

© LlC "PRIYATNAYA COMPANIYA", 2016
© Group of authors, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Фундаментальные исследования

Боголепова И.Н., Малофеева Л.И., Коршунов И.А. Цитоархитектоника речедвигательной зоны коры мозга мужчин в зрелом, пожилом и старческом возрасте**.** **4**

Белинский. А.В. Интерференция света и отсутствие определенных значений измеряемых величин априори. **14**

Новые идеи, подходы

Магницкий Н.А. О природе и физической сущности энергетических уровней атома водорода. **34**

Холопцев А. В., Кононова Н. К. Изменения характера циркуляции атмосферы северного полушария и ледовитости Арктики. **46**

Эксперименты, открытия, практика

Смирнов В. Л. Формирование комплекса в процессе эволюции сложной самоорганизующейся системы. **71**

Смирнов В. Л. Интерпретация комплекса, сформированного в сложной самоорганизующейся системе. **85**

CONTENTS

Basic researches

Bogolepova I.N., Malofeeva L.I., Korshunov I.A. Cytoarchitectonics of speech motor zone of cortex of male brain in mature, elderly and senile age. **4**

Belinsky A.V. The light interference and the lack of particular measured values until the measurement (a priori). **14**

New ideas, approaches

Magnitskii N.A. On the nature and physical essence of energy levels of hydrogen atom. **34**

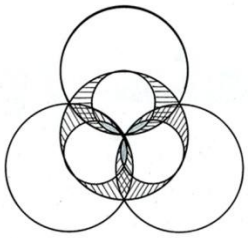
Kholoptsev O.V., Kononova N.K. The changing of kharacteristics of northern hemisphere atmospheric circulation and arctic ice cover. **46**

Experiments, opening, practice

Smirnov V. L. Formation of a complex during evolution of a complex self-organized system. **71**

Smirnov V.L. Interpretation of a complex formed in complex self-organized system**. 85**

УДК 611.813.11



ЦИТОАРХИТЕКТОНИКА РЕЧЕДВИГАТЕЛЬНОЙ ЗОНЫ КОРЫ МОЗГА МУЖЧИН В ЗРЕЛОМ, ПОЖИЛОМ И СТАРЧЕСКОМ ВОЗРАСТЕ

Боголепова И.Н. (акад. РАН, д.м.н., проф., зав.лаб.),

Малофеева Л.И. (к.б.н., в.н.с.),

Коршунов И.А. (м.н.с.)

ФГБНУ «Научный центр неврологии», лаборатория анатомии и архитектоники мозга,

Москва, РФ

bogolepovaira@gmail.com

Аннотация. Изучалась цитоархитектоника поля 44 речедвигательной зоны коры мозга мужчин в зрелом (19-60 лет), пожилом (61-75 лет) и старческом (старше 75 лет) возрасте. В каждой возрастной группе было изучено по 10 полушарий мозга. Исследование проводилось на непрерывных сериях фронтальных тотальных срезов, окрашенных крезилом фиолетовым по методу Ниссля. Современными морфометрическими методами были изучены ширина коры, площадь профильного поля нейронов слоев III и V, их классовый состав, плотность нейронов и глиоцитов, доля сателлитной глии и нейронов, окруженных ею. Было установлено, что у мужчин пожилого возраста изменение изученных морфометрических характеристик незначительно и преимущественно выражено в проекционном слое V. У мужчин старческого возраста атрофические процессы выражены не только на цитоархитектоническом, но и на макроскопическом уровне. В старческом возрасте выявлены статистически значимые изменения всех изученных морфометрических характеристик, как в слое III, так и в слое V.

Ключевые слова: мозг мужчины, цитоархитектоника, речедвигательная зона, возрастные изменения

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы, благодаря развитию компьютерной технологии, в неврологии возрос интерес к МРТ-морфометрии [6, 7, 9]. В литературе значительно увеличилось число работ, посвященных возрастным изменениям анатомических характеристик его структур [12, 15, 18]. В последнее время большую значимость приобретают так называемые «продольные» МРТ-исследования, проводимые на одной и той же когорте пожилых людей с определенным интервалом времени [11, 17]. Полученные данные свидетельствуют о том, что нормальное старение характеризуется общей атрофией коры головного мозга. Эта атрофия связана со снижением с возрастом объемов серого и белого вещества с одновременным увеличением объёма желудочков мозга и сулькального пространства его коры. Авторы также отмечают, что с возрастом

наблюдается снижение толщины коры.

Большой вклад в изучение проблемы старения мозга человека вносят цитоархитектонические и гистологические исследования, которые позволяют оценить степень возрастных изменений различных по генезу и функции корковых и подкорковых структур мозга мужчин и женщин на клеточном уровне. К сожалению, число таких работ в литературе достаточно ограничено [2, 4, 8, 16].

Несмотря на огромное количество морфометрических данных, многие вопросы возрастных изменений структурной организации мозга человека остаются спорными. Большие разногласия имеются в литературе по вопросам гендерных отличий старения мозга мужчин и женщин. Так, например, по данным одних авторов – мозг при старении более уязвим у мужчин [12], по данным других исследователей – у женщин [15].

В литературе высказывается точка зрения о том, что старение мозга носит гетерогенный и асинхронный характер. Однако, вопрос о том, какие структуры мозга подвержены в большей степени атрофическому процессу, остается открытым.

Целью настоящего исследования явилось изучение цитоархитектоники поля 44 речедвигательной зоны коры мозга мужчин в зрелом, пожилом и старческом возрасте.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цитоархитектоническое исследование проведено на непрерывных сериях тотальных фронтальных парафиновых срезах левого и правого полушарий мозга мужчин. Срезы толщиной 20 мкм окрашены крезилом фиолетовым по методу Ниссля. Имеющийся материал был сгруппирован в три возрастные группы: I группа – мужчины зрелого возраста (19-60 лет), II группа – мужчины пожилого возраста (61-75 лет) и III группа – мужчины старческого возраста (старше 75 лет). Всего исследовано 30 полушарий мозга, по 10 полушарий в каждой группе. Все исследованные случаи не имели при жизни психических и неврологических заболеваний. Причина смерти – соматические патологии, несчастные случаи без черепно-мозговых травм. Взятие материала производилось в течение 24 часов после смерти.

На каждом 40-ом срезе производилась цитоархитектоническая дифференцировка поля 44 в соответствии с классификацией, принятой в Институте мозга.

Для объективного анализа возрастных изменений данной структуры мозга были изучены следующие морфометрические характеристики.

Под микроскопом МБС-9 (об. 7, ок. 4) в левом и правом полушарии мозга в каждом случае окуляр-микрометрическим методом измерялась ширина коры поля 44.

С помощью системы оптико-электронного ввода и анализа изображений «Диаморф Cito-W» (Россия) в слоях III и V поля 44 в идентичных местах левого и правого полушария мозга в каждом случае измеряли площади профильных полей 100 нейронов, в которых четко выделялось ядро и ядрышко (об. х100, ок. х10).

Под микроскопом “Axcioskop” в 0,001 мм^3 вещества мозга, с учетом поправки по Аберкромби [1], в слоях III и V поля 44 была подсчитана плотность расположения всех нейронов и всех глиоцитов, плотность и доля сателлитной глии и нейронов, окруженных ею (об. х100, ок. х10). В каждом полушарии было исследовано 30 полей зрения. Сателлитными глиоцитами считали такие, которые были расположены от тел

нейронов или начальных отделов дендритов на расстоянии не более диаметра ядра глиоцита.

Обработка количественных данных проводилась с использованием критерия Стьюдента. Отличия считались значимыми при $p<0,05$.

При изучении мозга мужчин пожилого и старческого возраста особое внимание было обращено на выявление признаков деструктивного характера – очагов клеточного запустения, дезорганизации слоев и подслоев коры, нарушения ее вертикальной исчерченности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Поле 44 коры лобной области мозга мужчин располагается на оперкулярной части нижней лобной извилины. В предыдущих наших работах подробно описаны вариабельность и гендерные отличия строения ее борозд [3, 5]. Исследование возрастных изменений строения борозд и извилин зоны Брока показало, что у мужчин пожилого возраста признаки атрофического процесса этой области коры на макроскопическом уровне не выражены. Они отмечаются у мужчин только в старческом возрасте, где во многих случаях наблюдается расширение нижней лобной, прецентральной, латеральной борозды и ее восходящей и передней ветвей, особенно в левом полушарии мозга.

Во всех трех изученных группах мужчин поле 44 цитоархитектонически четко дифференцируется среди других корковых структур. Оно характеризуется довольно широкой корой, слабым развитием и нерезкостью границ II и IV слоев, слабо выраженной горизонтальной стратификацией коры, хорошо развитой ее радиальной исчерченностью, наличием крупных пирамид в слое III.

В пожилом возрасте цитоархитектоника коры поля 44 мозга мужчин остается сохранной и визуально не отличается от аналогичной в зрелом возрасте по степени выраженности горизонтальной и вертикальной исчерченности, толщины коры и плотности нейронов. Однако у пожилых мужчин отмечается нарушение структуры отдельных нейронов: набухание и деформация его тела, ядра, тотальный тигролиз, накопление липофусцина, появление клеток-теней, глиальных узелков. Эти изменения нейронов в большей степени выражены в нижних слоях коры.

В старческом возрасте в поле 44 коры мозга мужчин наблюдается увеличение степени деструктивных изменений не только на уровне отдельных нейронов, но и цитоархитектоники в целом. Отмечается истончение и разреженность коры, увеличение числа очагов клеточного опустошения (рис. 1).

Данные морфометрических исследований показали, что толщина коры поля 44 у мужчин пожилого возраста в обоих полушариях мозга статистически значимо не отличается от аналогичной в зрелом возрасте ($p>0,05$), в то время, как в старческом возрасте она уменьшается в левом полушарии на 10,5% ($p<0,05$). Следует отметить, что в старческом возрасте более значительные изменения величины данного показателя выражены в левом полушарии мозга, за счет чего в этом возрасте межполушарная асимметрия толщины коры поля 44 сглаживается (рис. 2).

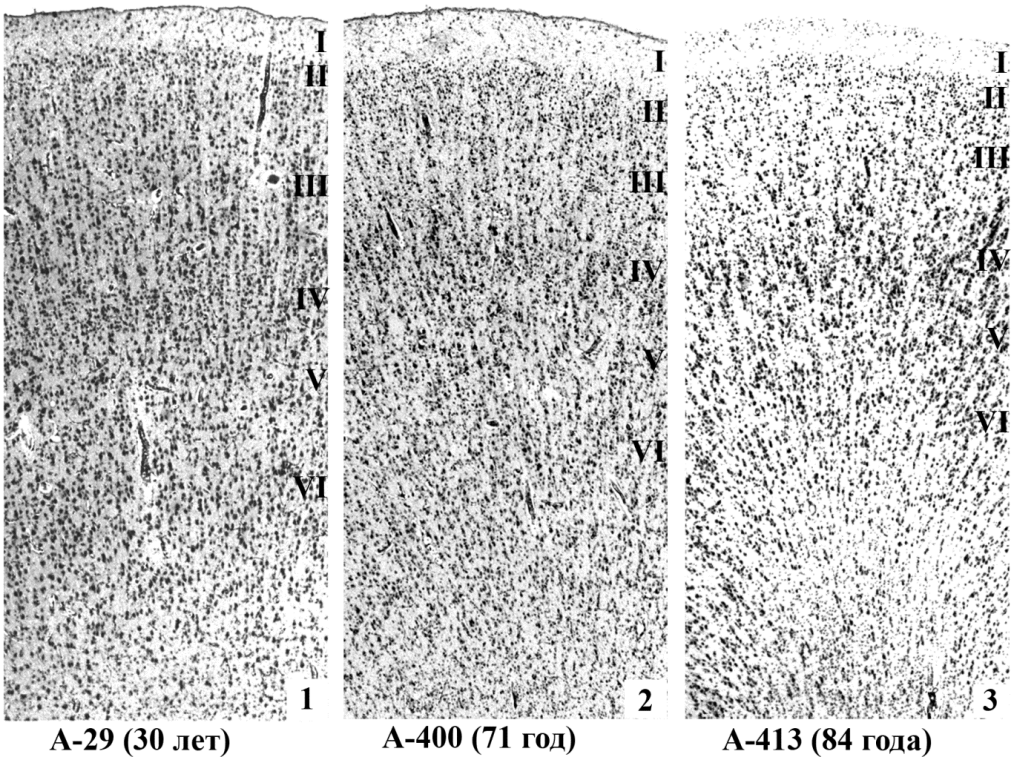


Рис. 1. *Цитоархитектоника коры поля 44 мозга мужчин в зрелом (1), пожилом (2) и старческом (3) возрастах. Об. 2,5; ок. 10. Окраска крезилом фиолетовым по методу Ниссля.*

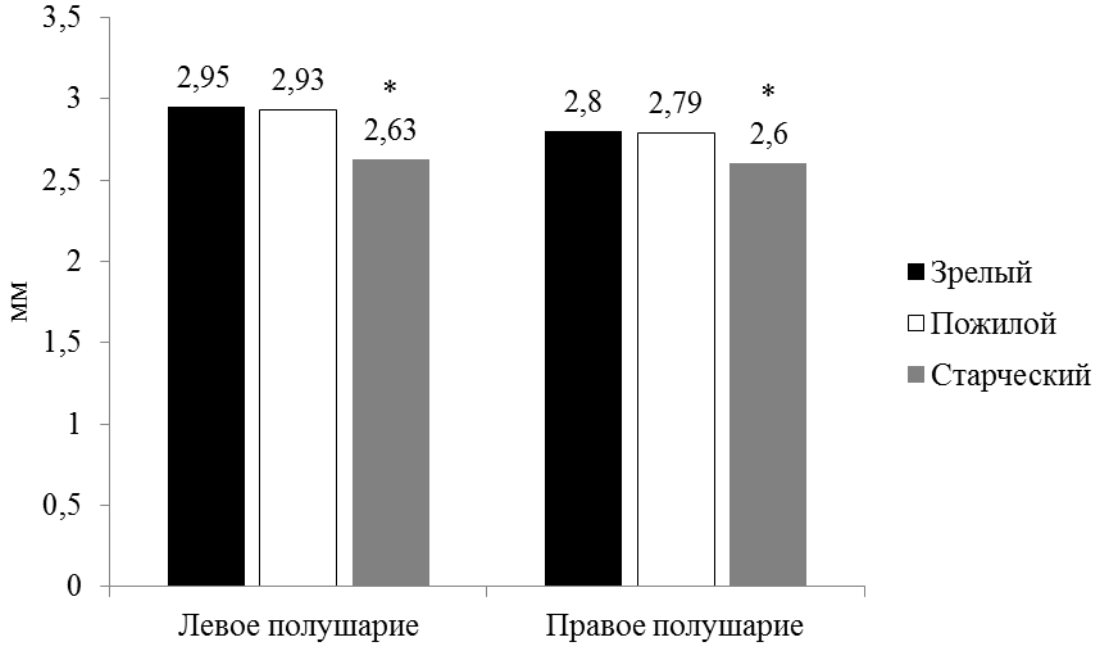


Рис. 2. *Толщина коры поля 44 коры мозга мужчин в зрелом, пожилом и старческом возрастах (в мм).* ******* *- возрастные отличия при $p<0.05$.*

С возрастом, в поле 44 коры мозга мужчин были выявлены изменения величины площади профильного поля нейронов слоев III и V. В обеих возрастных группах отмечалось уменьшение средней величины данной характеристики. В старческом возрасте это изменение более значительно, чем в пожилом. Так, у мужчин во второй возрастной группе площадь профильного поля нейронов слоя III уменьшилось на 6,8% и 8,5% (в левом и правом полушарии), а в старческом на 26,2% и 17%. Такая же закономерность была выявлена и в слое V. В пожилом возрасте размер нейронов в среднем снизился на 9,3% и 10,4%, в старческом на 27,5% и 21,9% соответственно левому и правому полушарию мозга. Изменение величины площади профильного поля в обеих возрастных группах более резко выражены в слое V по сравнению со слоем III.

Анализ нейронного состава слоев III и V поля 44 коры мозга мужчин показал, что с возрастом в обоих слоях коры наблюдается уменьшение процента нейронов крупного и среднего размеров и увеличение числа мелких нейронов. Более значительные изменения нейронного состава по величине площади профильного поля происходят в старческом возрасте (рис. 3).

Такая же закономерность выявлена нами и в слое V. Так, например, крупные нейроны в этом слое составляют в левом полушарии мозга мужчин в зрелом возрасте – 27%, в пожилом – 17%, в старческом – 10%, в правом полушарии – 18%, 10% и 4% соответственно. Возрастные изменения нейронного состава более отчетливо выражены в проекционном слое V по сравнению с ассоциативным слоем III, как в пожилом, так и в старческом возрасте.

Большой интерес представляют данные нейро-глиальных соотношений в поле 44 коры мозга мужчин в изученных возрастных группах.

Исследование плотности нейронов в слоях III показало, что в пожилом возрасте она изменяется незначительно ($p>0,05$), в то время как в старческом возрасте снижение величины данного показателя статистически значимо ($p<0,05$) (рис. 4).

Так, в пожилом возрасте плотность нейронов в левом полушарии в слое III поля 44 уменьшилась на 6,4%, в правом – на 8,3%, в старческом – на 24,3% и 23,7% соответственно. В слое V уменьшение этого показателя выражено ещё в большей степени, чем в слое III: в пожилом возрасте – на 13,7% и 14,3%, в старческом – на 31,5% и 34,9% ($p<0,05$).

Наши исследования также показали, что у мужчин с возрастом наблюдается увеличение плотности общей глии. Особенно резко это выражено в старческом возрасте. В левом полушарии мозга в слое III поля 44 она увеличилась у мужчин пожилого возраста – на 2,6%, в правом – на 6,1%, у мужчин старческого возраста – на 28,2% и 28,1% соответственно. В нижнем этаже коры в слое V значительная пролиферация глии наблюдается уже в пожилом возрасте. Увеличение числа глиоцитов составило 12,2% в левом полушарии и 25,2% в правом. Возрастные отличия величины данного показателя статистически значимы ($p<0,05$).

У мужчин в пожилом и старческом возрастах, при сравнении со зрелым возрастом, в слоях III и V поля 44 наблюдается увеличение глиального индекса, который также более значительно увеличивается в старческом возрасте, чем в пожилом. В левом полушарии мозга в слое III поля 44 у мужчин в зрелом, пожилом и

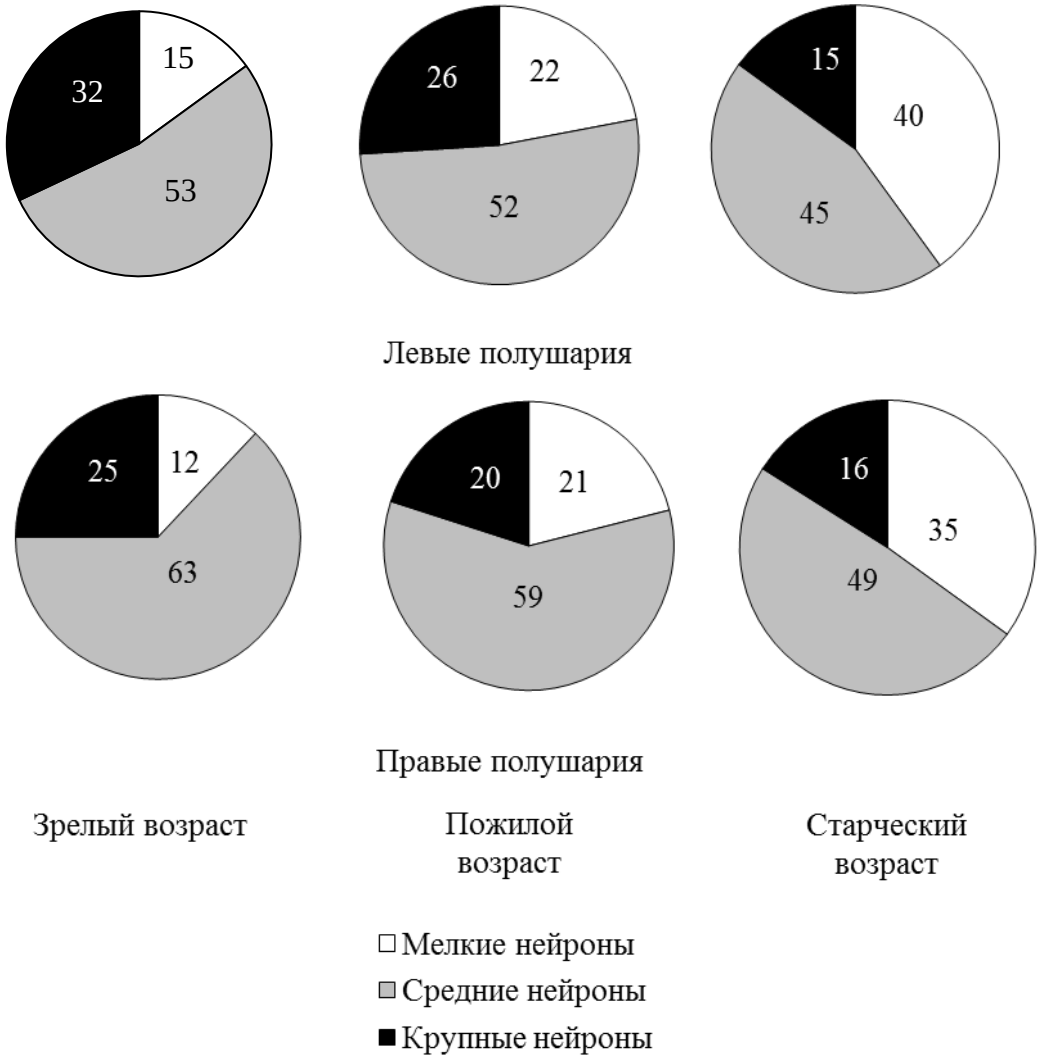


Рис. 3. *Нейронный состав слоя III коры поля 44 мозга мужчин в зрелом, пожилом и старческом возрастах (в %).*

старческом возрасте он был равен – 3,0; 3,1; 5,1, в правом полушарии – 2,8; 3,2; 4,4. Следует отметить, что в слое V глиальный индекс значительно возрастает у мужчин уже в пожилом возрасте. В левом полушарии мозга в изученных возрастных группах мужчин он равен – 2,6; 3,4; 4,5, в правом полушарии – 2,5; 3,7; 4,8.

Значительные различия между слоями III и V были выявлены нами при анализе возрастных изменений плотности нейронов, окружённых сателлитной глией. В ассоциативном слое III поля 44 у мужчин в пожилом возрасте наблюдается увеличение их числа на 4,2% и 6,6%, в старческом возрасте их плотность уменьшается на 13,7 и 15,4%. В слое V уменьшение этого показателя более значительно, чем в слое III, как в пожилом (-20,0% и -25,5%), так и в старческом возрасте (-30% и -35,8%).

Важными показателями, характеризующими степень активности нейронов, являются плотности сателлитных глиоцитов и нейронов, окруженных ими.

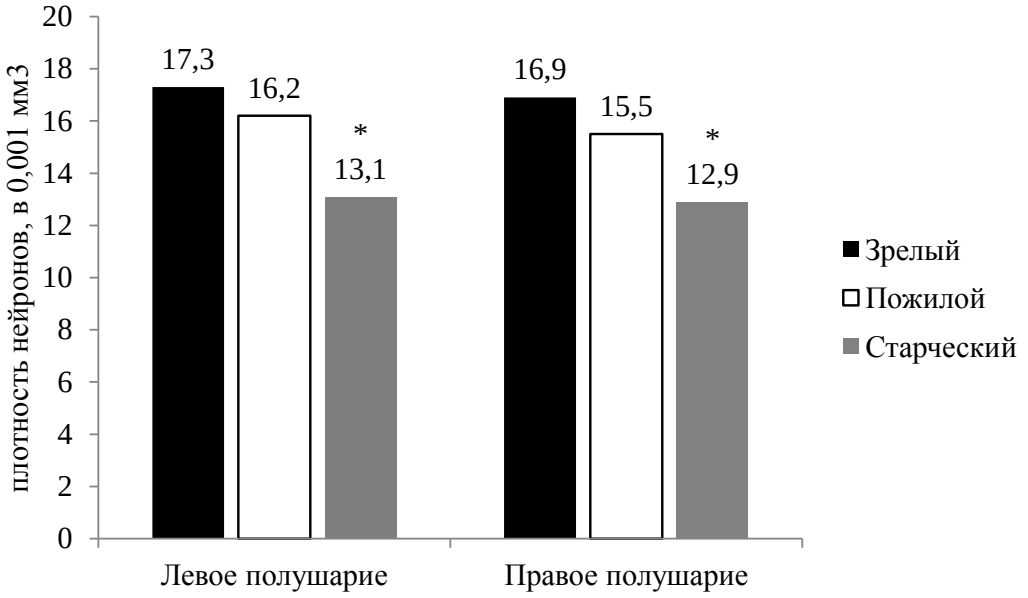


Рис. 4. *Плотность нейронов в слое III поля 44 коры мозга мужчин в зрелом, пожилом и старческом возрастах (в 0,001 мм^3).* ******* *- возрастные отличия при p<0.05.*

Проведенные исследования показали, что плотность сателлитной глии в слое III поля 44 у мужчин в пожилом возрасте незначительно увеличивается в левом полушарии мозга на 5,8%, в правом – на 8,4%. В старческом возрасте наблюдается небольшое снижение этого показателя: на 3,6% и 4,6%. В обеих возрастных группах статистически значимых изменений плотности сателлитных глиоцитов в слое III поля 44 коры мозга мужчин не выявлено (p>0,05). В слое V, в отличии от слоя III плотность сателлитной глии резко уменьшается как в пожилом возрасте (-21,3% и -18,4%), так и в старческом возрасте (-25,5% и -28,0%), p<0,05.

О большей устойчивости к возрасту нейронов верхнего этажа коры по сравнению с нижним, свидетельствуют данные плотности нейронов, окружённых сателлитной глией. В слое III их плотность в пожилом возрасте увеличивается на 4,2% и 6,6% в левом и правом полушарии, в слое V наблюдается резкое уменьшение величины данной характеристики на 20,0% и 25,5%. В старческом возрасте плотность нейронов, окруженных сателлитной глией также более резко снижается в слое V (-30,0% и -35,8%) по сравнению со слоем III (-13,7%, -15,4%).

Таким образом, наши данные свидетельствуют о том, что у мужчин с возрастом наблюдаются изменения структурной организации поля 44 речедвигательной зоны коры полушарий мозга. В пожилом возрасте, в исследованных нами случаях (59 – 71 год), они выражены, в основном, на клеточном уровне. У мужчин пожилого возраста статистически значимые изменения изученных морфометрических параметров поля 44 выявлены только в слое V, в то время как в ассоциативном слое III они незначительны (p>0,05).

У мужчин старческого возраста (84 – 89 лет) атрофические процессы уже выражены не только на цитоархитектоническом, но и на макроскопическом уровне. В

III-ей возрастной группе по сравнению с I-ой, выявлены статистически значимые изменения всех изученных морфометрических характеристик, как в слое V, так и в слое III ($p<0,05$).

В литературе имеются противоречивые данные о темпах атрофического процесса мозга человека в течение жизни. Одни исследователи считают, что возрастные изменения после 65-ти лет остаются постоянными [11], другие полагают, что с возрастом они ускоряются [14]. Результаты наших исследований также показали, что в возрасте 60-70 лет цитоархитектоника поля 44 речедвигательной зоны коры мозга остается у мужчин достаточно сохранной, в то время, как в возрасте 80-90 лет наблюдаются очень значительные изменения величины ее ведущих морфометрических характеристик.

В литературе существует точка зрения о том, что когнитивное снижение функции с возрастом связано у человека с гибелью нейронов. Однако, данные ряда исследований свидетельствуют о том, что гистологические изменения, лежащие в основе возрастных макроскопических изменений, вероятно, не связаны на прямую с потерей нейронов с возрастом, а в значительной степени обусловлены разрушением и гибелью нервных волокон, дендритных ветвей и синапсов [13]. Наши данные свидетельствуют о том, что атрофический процесс речедвигательного поля 44 коры мозга мужчин в большей степени выражен в нижнем этаже коры, где плотность пирамидных нейронов слоя V значительно уменьшается уже в пожилом возрасте, в то время, как в ассоциативном слое III, статистически значимое изменение этого показателя наблюдается только в старческом возрасте. Эти различия, возможно, обусловлены особенностями ангиоархитектоники верхнего и нижнего этажей коры. Эффективность кровоснабжения пирамидных нейронов слоя III выше, чем крупных пирамидных нейронов слоя V. Объем внутрикорковых сосудов этого слоя в соматосенсорной области коры мозга у подростков и юношей более высокий, чем в подслое III^3 [10].

Мы полагаем, что выявленные нами возрастные изменения цитоархитектоники коры речедвигательной зоны мозга мужчин связаны не только с процессом старения, но могут быть обусловлены и патологией сосудистой системы, о чем свидетельствуют и литературные данные.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блинков С. М., Глезер И. И. Мозг человека в цифрах и таблицах. – Л: Медицина, 1964. – 471 с.

2. Боголепова И. Н., Амунц В. В., Оржеховская Н. С., Малофеева Л. И. Некоторые закономерности структурных изменения коры и подкорковых образований мозга человека в процессе старения // Журн. невропатологии и психиатрии. – 1985. – Т. 85, № 7. – С. 965–968.

3. Боголепова И. Н., Малофеева Л. И. Гендерные различия речедвигательной зоны коры головного мозга мужчины и женщины // Сложные системы. – 2012. – Т. 3, № 4. – С. 8 – 24.

4. Боголепова И. Н., Малофеева Л. И. Возрастные изменения цитоархитектоники речедвигательных полей лобной области коры мозга мужчин // Журнал анатомии и гистопаталогии. – 2013. – Т. 2, № 1. – С. 25–30.

5. Боголепова И. Н., Малофеева Л. И. Мозг мужчины, мозг женщины. – М: Галлея-

принт, 2014. – 300 с.

6. Брюхов В.В., Куликова С.Н., Кротенкова М.В. и др. Современные методы визуализации в патогенезе рассеянного склероза // Анналы клинич. и эксперим. неврол. – 2013. – Т. 7, № 3. – С. 47–53.

7. Кремнева Е.И., Коновалов Р.Н., Кротенкова М.В. Функциональная магнитно-резонансная томография // Анналы клинич. и эксперим. неврол. – 2011. – Т. 5, № 1. – С. 30–39.

8. Оржеховская Н. С. Нейроно-глиальные отношения в коре лобной области большого мозга человека при нормальном и патологическом старении (болезни Альцгеймера) // Архив анатомии, гистологии и эмбриологии. – 1986. – Т. XCI, № 11. – С. 5–12.

9. Пирадов М.А., Танашян М.М., Кротенкова М.В., Брюхов В.В., Кремнева Е.И., Коновалов Р.Н. Передовые технологии нейровизуализации // Анналы неврологии. – 2015. – Т. 9, № 4. – С. 11-18.

10. Самойлов М. О. Реакция нейронов мозга на гипоксию. – Л: Наука, 1985. – 190 с.

11. Crivello F., Tzourio-Mazoyer N., Tzourio C., Mazoyer B. Longitudinal assessment of global and regional rate of grey matter atrophy in 1,172 healthy older adults: modulation by sex and age / PLoS One. 2014 Dec 3;9(12):e114478. doi: 10.1371/journal.pone.0114478. eCollection 2014.

12. Coffey C. E., Lucke J. F., Saxton J. A., et al. Sex Differences in Brain Aging: A Quantitative Magnetic Resonance Imaging Study // Arch. Neurol. – 1998. – vol. 55. – pp. 169–179.

13. Fjell AM, Westlye LT, Grydeland H, Amlien I, Espeseth T, et al. Critical ages in the life course of the adult brain: nonlinear subcortical aging // Neurobiol Aging. – 2013. – vol. 34. – pp. 2239–2247.

14. Fotenos AF, Snyder AZ, Girton LE, Morris JC, Buckner RL. Normative estimates of cross-sectional and longitudinal brain volume decline in aging and AD // Neurology. – 2005. – vol. 64. – pp. 1032–1039.

15. Lemaître H., Crivello F., Grassiot B., et al. Age- and sex-related effects on the neuroanatomy of healthy elderly // NeuroImage. – 2005. – vol. 26. I. 3. – pp. 900–911.

16. Pakkenberg B., Gundersen H.J. Neocortical neuron number in humans: Effect of sex and age // J Comp Neurol. – 1997. – vol. 384. – pp. 312–320.

17. Thambisetty M, Wan J, Carass A, An Y, Prince JL, et al. Longitudinal changes in cortical thickness associated with normal aging // Neuroimage. – 2010. – vol. 52. – pp. 1215–1223.

18. Xu J., Kobayashi S., Yamaguchi S., et al. Gender Effects on Age-Related Changes in Brain Structure // Neuroradiol. – 2000. – vol. 21. – pp. 112–118.

CYTOARCHITECTONICS OF SPEECH MOTOR ZONE OF CORTEX OF MALE BRAIN IN MATURE, ELDERLY AND SENILE AGE.

Bogolepova I.N. (Dr. Sci. (Medicine)),
Malofeeva L.I. (Cand. Sci. (Biology),
Korshunov I.A.
Research Center of Neurology, Moscow, Russian Federation
bogolepovaira@gmail.com

Abstract. The cytoarchitectonics of field 44 of speechmotor zone of cortex of a brain of men in mature (19-32 years), elderly (59-71 years) and senile (84-89 years) age was studied. In each age group 10 hemispheres of a brain have been studied. Research was conducted on continuous series of the frontal total sections painted cresyl violet by Nissl's method. Modern morphometric methods have studied the cortex width, the area of the profile field of neurons of layers IIII and V, their class composition, density of neurons and glia, a share of a satellite glia and the neurons surrounded with her. It has been established that at men of elderly age change of the studied morphometric

characteristics slightly and is mainly expressed in a layer V. At men of senile age atrophic processes are expressed not only on cytoarchitectonics, but also at macroscopic level. At senile age statistically significant changes of all studied morphometric characteristics, both in layer III, and in layer V are revealed.

Keywords: brain man, cytoarchitectonics, prefrontal cortex, aged change

REFERENCES

1. Blinkov S. M., Glezer I. I. Mozg cheloveka v cifrah i tablicah. L: Medicina, 1964, 471 p.

2. Bogolepova I. N., Amunc V. V., Orzhehovskaja N. S., Malofeeva L. I. Nekotorye zakonomernosti strukturnyh izmenenija kory i podkorkovyh obrazovanij mozga cheloveka v processe starenija. *Zhurn. nevropatologii i psihiatrii*, 1985, vol. 85, no. 7, pp. 965–968.

3. Bogolepova I. N., Malofeeva L. I. Gendernye razlichija rechedvigatel'noj zony kory golovnogo mozga muzhchiny i zhenshhiny [*G*ender difference analysis of speech–motor zona broca's in man's and woman's brain] *Slozhnye sistemy – The complex systems*, 2012, no. 3(4), pp. 8 – 24.

4. Bogolepova I. N., Malofeeva L. I. Vozrastnye izmenenija citoarhitektoniki rechedvigatel'nyh polej lobnoj oblasti kory mozga muzhchin. *Zhurnal anatomii i gistopatalogii*, 2013, vol. 2, no. 1, pp. 25–30.

5. Boglepova I. N., Malofeeva L. I. Mozg muzhchiny, mozg zhenshhiny. M: Galleja-print, 2014, 300 p.

6. Brjuhov V.V., Kulikova S.N., Krotenkova M.V. i dr. Sovremennye metody vizualizacii v patogeneze rassejannogo skleroza. *Annaly klinich. i jeksperim. nevrol*., 2013, vol. 7, no. 3, pp. 47–53.

7. Kremneva E.I., Konovalov R.N., Krotenkova M.V. Funkcional'naja magnitno-rezonansnaja tomografija. *Annaly klinich. i jeksperim. nevrol*., 2011, vol. 5, no. 1, pp. 30–39.

8. Orzhehovskaja N. S. Nejrono-glial'nye otnoshenija v kore lobnoj oblasti bol'shogo mozga cheloveka pri normal'nom i patologicheskom starenii (bolezni Al'cgejmera). *Arhiv anatomii, gistologii i jembriologii*, 1986, vol. XCI, no. 11, pp. 5–12.

9. Piradov M.A., Tanashjan M.M., Krotenkova M.V., Brjuhov V.V., Kremneva E.I., Konovalov R.N. Peredovye tehnologii nejrovizualizacii. *Annaly nevrologii*, 2015, vol. 9, no. 4, pp. 11-18.

10.Samojlov M. O. Reakcija nejronov mozga na gipoksiju. L: Nauka, 1985, 190 p.

11. Crivello F., Tzourio-Mazoyer N., Tzourio C., Mazoyer B. Longitudinal assessment of global and regional rate of grey matter atrophy in 1,172 healthy older adults: modulation by sex and age / PLoS One. 2014 Dec 3;9(12):e114478. DOI: 10.1371/journal.pone.0114478. eCollection 2014.

12.Coffey C. E., Lucke J. F., Saxton J. A., et al. Sex Differences in Brain Aging: A Quantitative Magnetic Resonance Imaging Study. *Arch. Neurol*., 1998, vol. 55, pp. 169–179.

13.Fjell AM, Westlye LT, Grydeland H, Amlien I, Espeseth T, et al. Critical ages in the life course of the adult brain: nonlinear subcortical aging. *Neurobiol Aging*., 2013, vol. 34, pp. 2239–2247.

14.Fotenos AF, Snyder AZ, Girton LE, Morris JC, Buckner RL. Normative estimates of cross-sectional and longitudinal brain volume decline in aging and AD. *Neurology*, 2005, vol. 64, pp. 1032–1039.

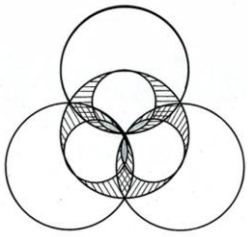
15.Lemaître H., Crivello F., Grassiot B., et al. Age- and sex-related effects on the neuroanatomy of healthy elderly. *NeuroImage*, 2005, vol. 26, I. 3, pp. 900–911.

16.Pakkenberg B., Gundersen H.J. Neocortical neuron number in humans: Effect of sex and age. *J Comp Neurol*., 1997, vol. 384, pp. 312–320.

17.Thambisetty M, Wan J, Carass A, An Y, Prince JL, et al. Longitudinal changes in cortical thickness associated with normal aging. *Neuroimage*, 2010, vol. 52, pp. 1215–1223.

18.Xu J., Kobayashi S., Yamaguchi S., et al. Gender Effects on Age-Related Changes in Brain Structure. *Neuroradiol*, 2000, vol. 21, pp. 112–118.

УДК 530.145.1



ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА И ОТСУТСТВИЕ ОПРЕДЕЛЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ИЗМЕРЯЕМЫХ ВЕЛИЧИН АПРИОРИ

Белинский А.В. (д. ф.-м. н., профессор)
МГУ им. М.В. Ломоносова, Физический факультет, Москва, РФ
belinsky@inbox.ru

Аннотация. Рассматриваются особенности поведения фотонов в различных экспериментальных ситуациях. Анализируются варианты двухлучевой интерференции одиночного фотона и возможности формирования им стоячей волны, а также трехлучевая интерференция. Наблюдаемые при этом эффекты доказывают отсутствие определенных значений измеряемых величин до момента измерения, причем в последнем случае априори не имеет определенного значения число фотонов в поле, несмотря на то, что система находится в энергетическом состоянии. Рассмотрен также эксперимент, доказывающий отсутствие определенной фазы и разности фаз у фотонов, находящихся в фоковском состоянии, который позволяет более критично относится к различным видам теорий скрытых параметров, в том числе и нелокальных.

Ключевые слова: интерференция света, квантовые измерения, интерпретации квантовой механики, интерференция одиночных квантовых частиц, многофотонная интерференция

1. ВВЕДЕНИЕ

Квантовые измерения, в отличие от обычных классических измерений, обладают тем характерным свойством, что до момента измерения физическая величина априори не обладает каким-либо конкретным значением, если она не находится в собственном состоянии измеряемой величины. Именно это свойство, а не вероятностный характер результатов измерений, выделяет квантовую теорию в самостоятельный раздел современной науки. В противном случае она была бы просто подразделом статистической физики. И именно это свойство находится в полном соответствии с копенгагенской интерпретацией квантовой теории. Далее рассмотрены конкретные экспериментальные ситуации, подтверждающие это положение.

2. ДВУХЛУЧЕВАЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ

В обычных двухлучевых интерферометрах, например, Маха-Цендера (рис. 1), гармоническая зависимость интенсивности света I на выходе от разности фаз в каналах $\Phi_2 - \Phi_1$ появляется в результате сложения комплексных амплитуд двух интерферирующих пучков (см., напр. [11]):

$$I \propto |a_1 + a_2|^2 = |a_1|^2 + |a_2|^2 + a_1 a_2^* + a_1^* a_2 = |a_1|^2 + |a_2|^2 + 2|a_1 a_2|\cos(\Phi_2 - \Phi_1). \quad (1)$$

Интерференционные слагаемые $a_1 a_2^*$ и $a_1^* a_2$ представляют собой произведение двух амплитуд (одна из которых комплексно сопряженная). Такую интерференцию можно назвать интерференцией второго порядка (по амплитуде). В квантовом

описании двухмодовой интерференции эти слагаемые будут операторами $\hat{a}_1\hat{a}_2^+$ и $\hat{a}_1^+\hat{a}_2$ в силу того, что интерферометр представляет собой линейное устройство, следовательно, некоммутирующие операторы нигде не перемножаются друг на друга, и их некоммутативность никак не сказывается на результате. А это означает, что классическое описание линейной системы отличается от квантового только тем, что комплексные амплитуды первого становятся операторами в представлении Гейзенберга – второго, и квантовая специфика проявляется лишь при итоговом усреднении наблюдаемых по квантовому состоянию системы.

Рассмотрим интерферометр Маха-Цендера, на вход которого подаются одиночные фотоны в фоковском состоянии (рис. 1). Уберем в начале, второй светоделитель, расположенный перед фотодетекторами. Включим детекторы, которые начнут регистрировать одиночные фотоотсчеты либо в одном, либо в другом канале с равной вероятностью 1/2.

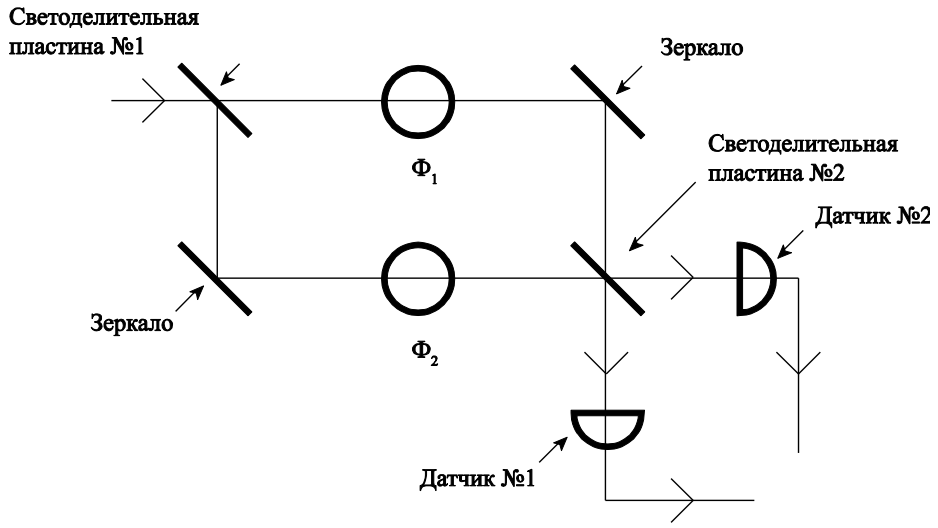


Рис. 1. *Схема интерферометра Маха-Цендера. Вероятность фотоотсчетов на детекторах описывается гармонической функцией* $P_{1,2} = \frac{1}{2}\left[1 \pm \cos(\Phi_1 - \Phi_2)\right]$*, где* Φ_1 *и* $\Phi_2 -$ *фазовые задержки в плечах интерферометра, а знак в этом выражении зависит от того, какой детектор осуществляет регистрацию.*

Что произойдет после того, как мы вернем второй светоделитель на место? Вероятность фотоотсчетов на детекторах теперь будет описываться гармонической функцией (см., напр., [2]):

$$P_{1,2} = \frac{1}{2}\left[1 \pm \cos(\Phi_1 - \Phi_2)\right], \tag{2}$$

где Φ_1 и $\Phi_2 -$ фазовые задержки в плечах интерферометра. Знак в этом выражении зависит от того, какой детектор осуществляет регистрацию. Эту гармоническую функцию нельзя представить в виде суммы вероятностей

$$P_{1,2}(\Phi_1, \Phi_2) \neq P(\Phi_1) + P(\Phi_2). \tag{3}$$

Следовательно, после первого светоделителя фотон будет присутствовать в обоих плечах интерферометра одновременно, хотя в первом акте эксперимента он регистрировался только в одном. Это связано с тем, что редукция вектора состояния квантовой системы происходит только в момент регистрации фотона, а до этого он находится в обоих каналах.

Тот же результат можно доказать и другим способом. При разности фаз $0+2\pi m$ или $\pi+2\pi m$ одиночные фотоны будут появляться только на одном из детекторов. Вероятность появления фотонов на втором будет нулевой. Перекроем одно из плеч интерферометра. Фотоотсчеты, у, до того «безмолвного», фотодетектора, появятся. Это означает, что до перекрытия фотон присутствовал в этом плече в каждой реализации, иначе вероятность появления фотоотсчетов на рассматриваемом фотодетекторе не была бы нулевой. Аналогично доказывается присутствие фотона в каждой реализации и в другом плече интерферометра. Следовательно, результат измерения месторасположения фотона (в каком плече находится фотон?) при убранном втором светоделителе до момента измерения не определен, поскольку фотон находится в обоих плечах сразу (см., также [2]).

Есть еще одно строгое доказательство пребывания фотона в обоих плечах интерферометра одновременно. Поместим вместо или в качестве фазовых задержек две идентичные нелинейные среды, обладающие кубичной нелинейностью, в которых происходит фазовая самомодуляция (ФСМ), т.е. изменение показателя преломления сред под действием находящегося в них света. Это могут быть, например, кварцевые волокна (рис. 2). Фотон, проходя через них, должен приобретать дополнительный фазовый набег, который неизбежно скажется на результате интерференции.

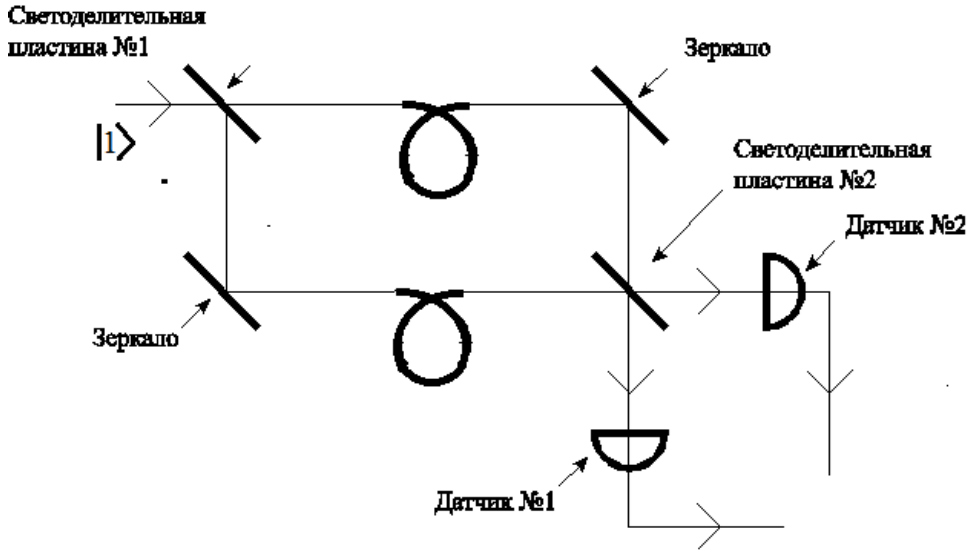


***Рис. 2**. Схема интерферометра Маха-Цендера с идентичными нелинейными волокнами в каналах.*

Пусть в отсутствие излучения фазовые набеги в плечах были одинаковы. Тогда, посылая в интерферометр единичный фотон, мы имеем две альтернативы: либо фотон пройдет только одно плечо, и разность фаз изменится за счет нелинейного

набега фазы в этом плече, либо фотон пройдет оба плеча, нелинейные фазовые набеги в которых будут одинаковы, так что разность фаз не изменится. В последнем случае мы увидим появление фотона лишь на одном из выходов интерферометра.

Входную монохроматическую моду в фоковском состоянии $|1\rangle$ будем описывать оператором уничтожения фотона $\hat{a}_1$, а вакуумную моду $|0\rangle$ на втором входе – оператором $\hat{a}_0$. После первого 50%-ного светоделителя также рассматриваем две моды, описываемые операторами $\hat{a}_2$, $\hat{a}_3$ в представлении Гейзенберга:

$$\hat{a}_2 = \frac{\hat{a}_1 + \hat{a}_0}{\sqrt{2}}, \qquad \hat{a}_3 = \frac{\hat{a}_1 - \hat{a}_0}{\sqrt{2}}. \tag{4}$$

Далее учитываем действие керровской нелинейности. Устойчивое поперечное распределение интенсивности в кварцевых волокнах можно рассматривать как моду излучения, а сам четырехфотонный процесс описывать одномодовым гамильтонианом (см., напр., [3] и цитируемую там литературу):

$$\hat{H} = \frac{\hbar}{2}\chi^{(3)}\hat{a}^+\hat{a}^+\hat{a}\hat{a}, \tag{5}$$

где $\chi^{(3)}$ – коэффициент кубичной нелинейности, пронормированный по числу фотонов. Нелинейный отклик полагаем мгновенным.

Соответствующий оператор эволюции квантового состояния в представлении Шредингера равен

$$\hat{U} = \hat{I}\exp\left(-i\frac{\overline{\chi}}{2}\hat{a}^+\hat{a}^+\hat{a}\hat{a}\right) = \hat{I}\exp\left(-i\frac{\overline{\chi}}{2}\hat{n}(\hat{n}-1)\right), \tag{6}$$

где $\overline{\chi} = \chi^{(3)}t$, а время эволюции t связано с длиной волокна $l=vt$, v – скорость распространения моды в волокне, $\hat{n}(t)$ – оператор числа фотонов.

В представлении Гейзенберга оператор уничтожения фотона моды поля подчиняется уравнению $i\hbar\frac{d\hat{a}}{dt} = \left[\hat{a}, \hat{H}\right]$, откуда $\hat{a}(t) = e^{-i\overline{\chi}\hat{a}^+(0)\hat{a}(0)}\hat{a}(0)$, а в нашем случае

$$\hat{a}_2' = e^{-i\overline{\chi}\hat{a}_2^+\hat{a}_2}\hat{a}_2, \qquad \hat{a}_3' = e^{-i\overline{\chi}\hat{a}_3^+\hat{a}_3}\hat{a}_3. \tag{7}$$

Соответственно, две выходные моды интерферометра:

$$\hat{a}_0' = \frac{\hat{a}_2' - \hat{a}_3'}{\sqrt{2}}, \qquad \hat{a}_1' = \frac{\hat{a}_2' + \hat{a}_3'}{\sqrt{2}}. \tag{8}$$

Найдем средние значения чисел фотонов на выходах интерферометра:

$$\langle\hat{n}_0\rangle \equiv \langle\hat{a}_0'^+\hat{a}_0'\rangle = 0, \qquad \langle\hat{n}_1\rangle \equiv \langle\hat{a}_1'^+\hat{a}_1'\rangle = 1. \tag{9}$$

Итак, мы наблюдаем интерференцию с нулевой разностью фаз, значит, фотон прибывает в обоих каналах одновременно.

3. СТОЯЧАЯ ВОЛНА

Одиночный фотон в плоской монохроматической моде, строго говоря, имеет бесконечную длину. Что мешает ему интерферировать самому с собой, например, после нормального падения и отражения от идеального отражающего зеркала, как на рис. 3а.

Как указывалось выше, классическое описание линейной системы до момента усреднения по квантовому состоянию системы не отличается от квантового. Итак, в случае плоских фронтов одиночный фотон окажется «размазанным» по неподвижной стоячей волне. Значит ли это, что он «летит» до плоского зеркала, а потом отразившись – назад? Очевидно, нет, ибо он присутствует во всей стоячей волне. Следовательно, измерение месторасположения фотона фотодетектором как раз и визуализирует его, поскольку до измерения он не имел определенной координаты. Итак, мы опять приходим к выводу об отсутствии определенного значения измеряемой величины до момента измерения.

Стоячую волну можно сформировать и в резонаторе с той лишь оговоркой, что в резонаторе стоячую волну образует не плоская мода, а мода (или моды) резонатора.

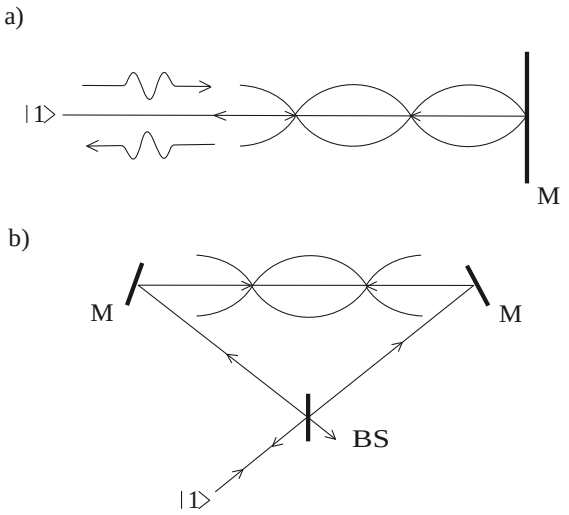


Рис. 3. *Стоячая волна образуемая «однофотонным волновым пакетом»:*
a) при нормальном отражении от зеркала M, b) фотон образует стоячую волну, симметричную относительно отражающих зеркал M, при помощи 50%-ного светоделителя BS.

Зарегистрировать фотон квадратичным детектором, реагирующим на квадрат амплитуды электрического поля, в узлах стоячей волны невозможно, поскольку она нулевая. Но помимо электрической, у фотона имеется еще и магнитная составляющая. Присутствие магнитной составляющей в узлах стоячей волны можно обнаружить следующим образом. Если пронизывать стоячую волну поперек пучком электронов, то в узлах они отклоняться не будут, поскольку там нет на них импульсного воздействия фотона. Можно также попробовать «рассмотреть» рентгеновскую стоячую волну электронным микроскопом. Уменьшение отклонения электронов в узлах должно быть заметно. Но если электроны будут релятивистскими, то они отклонятся даже в узлах стоячей волны за счет силы Лоренца, действующей в присутствии магнитной составляющей. Наверное, это был бы интересный эксперимент.

Конечно, монохроматических мод во Вселенной не бывает. Но всегда можно сформировать достаточно узкополосный «однофотонный волновой пакет», который

будет иметь некоторую длину когерентности, требуемую для наблюдения интерференции в течении какого-то промежутка времени. Правда стоячая волна в этом случае уже не будет одномодовой и статической, которая, впрочем, является упрощенной идеализацией. Такие состояния – однофотонные волновые пакеты – приготавливаются при помощи специального устройства, включающего в себя нелинейный параметрический преобразователь света. Описанию схемы этого устройства и посвящен следующий раздел (см. рис. 4).

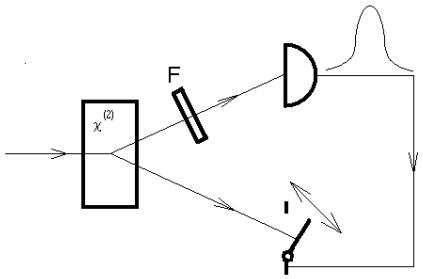


Рис. 4. *Схема приготовления однофотонного состояния: один из фотонов коррелированной пары (верхний) регистрируется детектором, по электронному сигналу которого открывается затвор, пропускающий второй фотон коррелированной фотонной пары, который, разумеется, должен поступить на затвор с задержкой. Затем затвор снова быстро закрывается. Ширина полосы приготовленного фотона определяется полосой пропускания спектрального фильтра F, поскольку сумма частот фотонной пары строго равна частоте монохроматической накачки.*

4. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ОДНОФОТОННОГО СОСТОЯНИЯ

Прекрасный способ приготовления однофотонного состояния впервые предложил Д.Н. Клышко [7] с использованием параметрического рассеяния света. Его схема представлена на рис. 4. Первый эксперимент осуществили C.K. Hong и L. Mandel [16].

Параметрическое преобразование света представляет собой процесс рождения фотонных пар в прозрачной среде с квадратичной нелинейностью под действием монохроматической накачки с частотой ω_p. При этом генерируются два пучка излучения – сигнальный (s) и холостой (i), частоты которых связаны соотношением: $\omega_p = \omega_s + \omega_i$.

Мощность лазера накачки подбирается небольшой, чтобы рождение фотонных пар в ходе параметрического рассеяния происходило достаточно редко, иначе они будут накладываться друг на друга. Чтобы отсечь «пропущенные» детектором пары и всевозможные посторонние засветки, во втором канале схемы на рис. 4 ставится затвор, пропускающий лишь фотон зарегистрированной детектором пары. После затвора гарантировано имеем одиночный фотон в известный момент (точнее промежуток)

времени появления импульса фотоотсчета и в определенной области пространства (сразу за затвором). Его коллимируем и направляем на вход рассмотренных выше интерференционных схем.

Спектральный фильтр F установлен для того, чтобы сформировать однофотонный волновой пакет требуемой длины когерентности, равной обратной ширине пропускания фильтра. Дело в том, что сумма частот фотонов коррелированной пары строго равна частоте монохроматической накачки, следовательно, ширины полос сигнального и холостого пучков равны. Итак, уменьшая ширину спектрального фильтра F, мы получаем увеличение длины когерентности приготовленного однофотонного волнового пакета.

5. ТРЕХЛУЧЕВАЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ

Наряду с обычными двухлучевыми интерферометрами, в частности, рассмотренными выше, бывают и интерферометры, в которых складывается множество пучков с различными амплитудами. Это, например, интерферометры или резонаторы Фабри-Перо с плоскими параллельными зеркалами, или многолучевые интерферометры с зеркалами другой формы. Их преимущество, по отношению к двухылучевым, состоит в том, что они более чувствительны к фазовым задержкам. Здесь же мы рассмотрим трехлучевой интерферометр, представляющий не столько практический, сколько эвристический интерес, поскольку он позволяет проанализировать специфические и в то же время фундаментальные особенности квантовой теории вообще и теории квантовых измерений, в частности. Его схема представлена на рис. 5 [11].

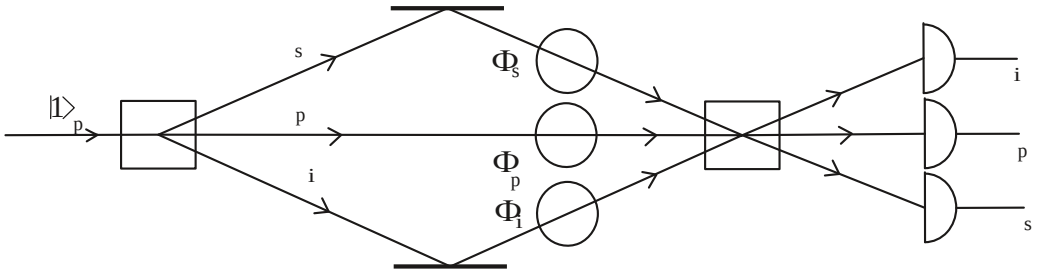


Рис. 5. *Схема интерференционного эксперимента, доказывающего априорное несуществование определенного числа фотонов в поле между двумя нелинейными кристаллами, изображенными в виде квадратиков. На вход подаются единичные фотоны* $|1\rangle_p$ *на частоте* ω_p*. Вероятность фотоотсчетов на детекторах* i *или* s *пропорциональна* $1+\cos(\Phi_s+\Phi_i-\Phi_p)$*, что свидетельствует об одновременном присутствии излучения во всех трех каналах. Но энергии одного входного фотона достаточно лишь на половину энергии трех фотонов.*

Пучок света с частотой ω_p в прозрачном нелинейном кристалле в ходе параметрического рассеяния порождает два пучка излучения – сигнальный (*s*) и холостой (*i*). Взаимодействие по пространству невырожденное: пучки неколлинеарны.

Поскольку эффективность параметрического преобразования мала, порядка $10^{-8} \div 10^{-7}$, основная доля излучения проходит через прозрачный кристалл, на выходе которого три пучка, в простейшем случае, три моды: *p, s* и *i*. Далее во все три компоненты поля вносятся регулируемые фазовые сдвиги Φ_p, Φ_s и Φ_i, после чего они вновь взаимодействуют во втором, точно таком же нелинейном кристалле. Он осуществляет обратное преобразование сигнального и холостого пучков в излучение на частоте накачки ω_p и прямое преобразование прошедшей первый кристалл накачки. Детекторы на выходе оптической схемы регистрируют фотоотсчеты всех трех пучков.

Вернемся к параметрическому рассеянию. С небольшой вероятностью (порядка $10^{-8} \div 10^{-7}$) фотон накачки ("*p*") исчезает, что описывается оператором уничтожения фотона $\hat{a}_p$, а вместо него рождается сигнальный ("*s*") и холостой ("*i*") фотоны, описываемые, соответственно, операторами рождения $\hat{a}_s^+$ и $\hat{a}_i^+$. Итак, если оператором $\hat{a}_p \hat{a}_s^+ \hat{a}_i^+$ подействовать слева на однофотонное состояние накачки $|1\rangle_p$ и вакуумные состояния сигнальной и холостой мод $|0\rangle_s |0\rangle_i$, то получим коррелированную фотонную пару:

$$\hat{a}_p \hat{a}_s^+ \hat{a}_i^+ |1\rangle_p |0\rangle_s |0\rangle_i = |0\rangle_p |1\rangle_s |1\rangle_i. \tag{10}$$

Здесь имеются в виду три плоские монохроматические моды излучения.

Эти простые соображения поясняют структуру трехмодового эффективного гамильтониана взаимодействия процесса параметрического рассеяния:

$$\hat{H} \propto \frac{i\hbar\chi^{(2)}}{2} \hat{a}_p \hat{a}_s^+ \hat{a}_i^+ + H.c., \tag{11}$$

где $\chi^{(2)}$ – квадратичная нелинейность, а эрмитово сопряженный оператор

$$H.c. = -\frac{i\hbar\chi^{(2)}}{2} \hat{a}_p^+ \hat{a}_s \hat{a}_i \tag{12}$$

описывает обратный параметрическому рассеянию процесс: рождение фотона накачки при одновременном исчезновении сигнального и холостого фотонов, который также возможен.

Эффективный трехмодовый гамильтониан взаимодействия параметрического рассеяния (11) позволяет предположить, что в случае однофотонного состояния накачки, точное решение уравнения Шредингера

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} |\psi(t)\rangle = \hat{H} |\psi(t)\rangle, \tag{13}$$

следует искать в виде:

$$|\psi(t)\rangle = \alpha(t) |1\rangle_p |0\rangle_s |0\rangle_i + \beta(t) |0\rangle_p |1\rangle_s |1\rangle_i. \tag{14}$$

Действительно, если на входе кристалла один фотон накачки $|1\rangle_p$ и вакуум на сигнальной и холостой модах ($|0\rangle_s$ и $|0\rangle_i$), то, либо этот фотон «развалится» на сигнальный и холостой ($|1\rangle_s$ и $|1\rangle_i$), а в накачке появится вакуум $|0\rangle_p$, либо все останется по-прежнему. Других альтернатив нет. При этом $\alpha(0)=1$, а $\beta(0)=0$. Те же соображения справедливы и для обратного преобразования во втором кристалле с той лишь разницей, что $\alpha(t)$ и $\beta(t)$ в нем могут иметь другие начальные условия, но в любом случае

$$|\alpha(t)|^2+|\beta(t)|^2=1, \tag{15}$$

иначе не будет выполняться условие нормировки для вектора состояния (14):

$$\langle\psi(t)|\psi(t)\rangle=1.$$

Обратим внимание на то, что вектор состояния (14) не факторизуется:

$$|\psi(t)\rangle\neq|\psi(t)\rangle_p|\psi(t)\rangle_s|\psi(t)\rangle_i, \tag{16}$$

т.е. оно является типично запутанным (entangle) состоянием.

Чтобы убедиться в справедливости решения (14), подставим его в уравнение Шредингера (13):

$$i\hbar\left(\dot\alpha|100\rangle+\dot\beta|011\rangle\right)=i\hbar\frac{\chi^{(2)}}{2}\left(\alpha|011\rangle-\beta|100\rangle\right), \tag{17}$$

где $|100\rangle=|1\rangle_p|0\rangle_s|0\rangle_i$, а $|011\rangle=|0\rangle_p|1\rangle_s|1\rangle_i$, откуда

$$\begin{cases}\dot\alpha=-\dfrac{\chi^{(2)}}{2}\beta,\\ \dot\beta=\dfrac{\chi^{(2)}}{2}\alpha.\end{cases} \tag{18}$$

Решение этой линейной системы дифференциальных уравнений удобно представить в матричной форме

$$\begin{pmatrix}\alpha(t)\\ \beta(t)\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\cos\Gamma & -\sin\Gamma\\ \sin\Gamma & \cos\Gamma\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\alpha(0)\\ \beta(0)\end{pmatrix}, \tag{19}$$

где $\Gamma=\dfrac{\chi^{(2)}}{2}t$, а время взаимодействия t определяется временем пролета фотона через нелинейный кристалл. При этом предполагается, что для выбранных направлений распространения мод в кристалле выполняется условие фазового синхронизма, т.е. все три моды распространяются синхронно при выполнении закона сохранения импульса.

Матрица преобразования состояния поля в кристалле, таким образом, равна

$$D(\Gamma)=\begin{pmatrix}\cos\Gamma & -\sin\Gamma\\ \sin\Gamma & \cos\Gamma\end{pmatrix}. \tag{20}$$

Перейдем к описанию фазовых задержек в модах. Оператор сдвига фазы моды равен (см., напр., [3]):

$$\hat U_\theta=\exp(-i\theta\hat n),$$

где $\hat{n} = \hat{a}^{+}\hat{a}$ – оператор числа фотонов в моде, а θ – фазовая задержка. Поскольку в каждой моде у нас либо один, либо ноль фотонов, оператор $\hat{n}$ для своего собственного состояния превращается в С–число, соответственно, 1 или 0. Следовательно, компоненту $|100\rangle$, нужно домножить на $e^{-i\Phi_p}$ Аналогично, вторую компоненту $|011\rangle$ домножаем на $e^{-i(\Phi_s+\Phi_i)}$. Матрица преобразования при этом будет диагональной:

$$D(\Phi) = \begin{pmatrix} e^{-i\Phi_p} & 0 \\ 0 & e^{-i(\Phi_s+\Phi_i)} \end{pmatrix}. \tag{21}$$

Итак, общее действие оптической системы интерферометра на рис. 5 описывается матрицей

$$D = D(\Gamma_2)D(\Phi)D(\Gamma_1), \tag{22}$$

где индексы “1” и “2” относятся, соответственно, к первому и второму нелинейным кристаллам.

Поскольку в исходном состоянии

$$\begin{pmatrix} \alpha(0) \\ \beta(0) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \tag{23}$$

на выходе второго нелинейного кристалла будет состояние (14) с

$$\alpha(t) = e^{-i\Phi_p}\cos\Gamma_1\cos\Gamma_2 - e^{-i(\Phi_s+\Phi_i)}\sin\Gamma_1\sin\Gamma_2, \tag{24}$$

$$\beta(t) = e^{-i\Phi_p}\cos\Gamma_1\sin\Gamma_2 + e^{-i(\Phi_s+\Phi_i)}\sin\Gamma_1\cos\Gamma_2. \tag{25}$$

Вероятности срабатывания идеальных детекторов в каналах равны

$$P_p = \langle\psi(t)|\hat{a}_p^{+}\hat{a}_p|\psi(t)\rangle = \langle\psi(t)|\hat{n}_p|\psi(t)\rangle = |\alpha(t)|^2, \tag{26}$$

$$P_s = P_i = \langle\psi(t)|\hat{a}_s^{+}\hat{a}_s|\psi(t)\rangle = \langle\psi(t)|\hat{a}_i^{+}\hat{a}_i|\psi(t)\rangle = |\beta(t)|^2. \tag{27}$$

Итак, согласно (24), (25):

$$P_p = C_p(1 + v_p\cos\Phi), \tag{28}$$

$$P_s = P_i = C_s(1 + v_s\cos\Phi), \tag{29}$$

где так называемая *видность интерференции*

$$v_p = \frac{2\sin\Gamma_1\sin\Gamma_2\cos\Gamma_1\cos\Gamma_2}{\sin^2\Gamma_1\sin^2\Gamma_2 + \cos^2\Gamma_1\cos^2\Gamma_2} = \frac{2}{\tan\Gamma_1\tan\Gamma_2 + \cot\Gamma_1\cot\Gamma_2}, \tag{30}$$

$$v_s = \frac{2\sin\Gamma_1\sin\Gamma_2\cos\Gamma_1\cos\Gamma_2}{\sin^2\Gamma_1\cos^2\Gamma_2 + \cos^2\Gamma_1\sin^2\Gamma_2} = \frac{2}{\tan\Gamma_1\cot\Gamma_2 + \cot\Gamma_1\tan\Gamma_2}, \tag{31}$$

фаза интерференции

$$\Phi = \Phi_p - \Phi_s - \Phi_i, \tag{32}$$

а коэффициенты C_p и C_s равны

$$C_p = \sin^2\Gamma_1\sin^2\Gamma_2 + \cos^2\Gamma_1\cos^2\Gamma_2, \tag{33}$$

$$C_s = \sin^2\Gamma_1\cos^2\Gamma_2 + \cos^2\Gamma_1\sin^2\Gamma_2. \tag{34}$$

Итак, вероятности обнаружения фотонов в каналах описываются гармоническими зависимостями (28) и (29) от фазы (32), включающей фазовые задержки во всех трех каналах. Поэтому их можно назвать интерференционными

зависимостями, а само явление – *интерференцией третьего порядка* или *трехлучевой интерференцией.*

Максимальный контраст интерференционной картины, т.е. максимальный перепад между интерференционным минимумом и максимумом будет при единичной видности *v*. В каналах *"s"* и *"i"* это очень легко достижимо: достаточно взять одинаковые нелинейные кристаллы с $\Gamma_1 = \Gamma_2$. Тогда, согласно (31), $v_s = 1$. В канале накачки *"p"* – сложнее, ибо $v_p = 1$ при $\Gamma_1 = \Gamma_2 = \pi/4$, что требует очень высокой эффективности параметрического взаимодействия, вряд ли возможной при однофотонной накачке.

Для наблюдения интерференционного эффекта, в принципе, достаточно и одного детектора, например, в канале *"s"*. При этом единичная видность будет и в случае малой эффективности параметрического преобразования, т.е. при любых $\Gamma_1 = \Gamma_2$, в том числе и $\Gamma_1 = \Gamma_2 << 1$. Следовательно, рассматриваемый эксперимент вполне реально осуществим. Правда нужно приготовить однофотонное состояние накачки. Идеальный лазер тут не поможет, поскольку даже при средней интенсивности в 1 фотон за время наблюдения *T* число зарегистрированных фотонов от реализации к реализации флуктуирует по пуассоновскому закону от нуля, до четырех и выше. Поэтому снова надо использовать схему, представленную на рис. 4.

Поскольку рождение фотонных пар происходит достаточно редко, а рождение вторичных пар в нелинейных кристаллах трехлучевого интерферометра на рис. 5 – еще реже, для регистрации интерференционной зависимости (29) придется запастись достаточным терпением. Но все же это принципиально возможно. Ведь первые эксперименты по наблюдению интерференции одиночных фотонов на двух щелях подчас длились по три месяца [23], поскольку схемы, подобной рис. 4, еще не знали, и одиночные фотоны брали от очень слабого теплового источника, настолько слабого, чтобы вероятность появления вместо одного – двух фотонов – была ничтожной. Кроме того, экспериментальное осуществление каскадного параметрического приготовления троек фотонов [14] не оставляет сомнений в возможности проведения и предлагаемого нами эксперимента.

Ранее экспериментаторы [13] наблюдали трехлучевую интерференцию не с одиночными фотонами на входе, а с обычным лазерным светом. Гармоническая интерференционная зависимость (29) была ими получена, правда с видностью $v_s = v_i$ несколько меньшей единицы. Дело в том, что очень трудно избежать всевозможных шумов в «нулях» интерференции, где $P_s = P_i = 0$. А именно эти «нули» интересны с точки зрения интерпретации эксперимента.

Попытаемся интерпретировать результат (29) в рамках наглядной модели с *априори* определенным числом фотонов в трехмодовом поле между нелинейными кристаллами (рис. 5). Априори в данном случае означает – до момента срабатывания какого либо из детекторов. Для простоты их квантовую эффективность η положим равной единице.

В первой серии испытаний убираем второй нелинейный кристалл, что соответствует $\Gamma_2 = 0$. При этом фазовые задержки в каналах не влияют на результаты

детектирования и наблюдаются фотоотсчеты или одновременно в обоих каналах "*s*" и "*i*", либо одиночные отсчеты в канале "*p*". Последние, разумеется, гораздо чаще. Но никогда не будет одновременно трех фотоотсчетов во всех трех каналах, поскольку энергии фотона на входе на это вдвое не хватает. Такая картина согласуется с наивным тривиальным предположением, что на выходе первого нелинейного кристалла якобы имеется попеременно то один фотон накачки $|1\rangle_p$, то пара сигнально и холостого фотонов $|1\rangle_s|1\rangle_i$.

Квантовое состояние (14) при этом интересно тем, что трехмодовое поле имеет строго определенную энергию $\hbar\omega_p$, хотя общее число фотонов

$$n_{p+s+i} = n_p + n_s + n_i \tag{35}$$

при $\alpha\beta \neq 0$ не имеет точно определенного значения:

$$\langle\psi(t)|\hat{n}_{p+s+i}|\psi(t)\rangle = |\alpha|^2 + 2|\beta|^2 = 1 + |\beta|^2, \tag{36}$$

$$\langle\psi(t)|\Delta\hat{n}^2_{p+s+i}|\psi(t)\rangle = |\alpha\beta|^2, \tag{37}$$

т.е. дисперсия флуктуаций общего числа фотонов ненулевая. Это пока вполне согласуется с простым и наивным предположением, что в поле появляются то по одному, то одновременно по два фотона.

Перейдем к описанию второй серии испытаний.

Устанавливаем в схеме на рис. 5 второй нелинейный кристалл с $\Gamma_2 = \Gamma_1$. При этом все три фазы Φ_p, Φ_s и Φ_i влияют на вероятности фотоотсчетов согласно (28), (29) и (32).

Интерференция с единичной видностью $v_s = v_i = 1$, описываемая законом

$$P_s = P_i \propto 1 + \cos\Phi, \tag{38}$$

свидетельствует о том, что изменяя фазовую задержку любой компоненты поля – Φ_s, Φ_p или Φ_i – можно полностью подавить фотоотсчеты при $\cos(\Phi_p - \Phi_s - \Phi_i) = -1$. Это и есть «нуль» интерференции или интерференционный минимум. В этом случае фотоотсчетов, например, в канале "s" не будет.

Перекроем свет в промежутке между нелинейными кристаллами в канале "*p*" так же, как это мы делали с интерферометром Маха-Цендера. Появляются фотоотсчеты в канале "*s''*, т.к. их вероятность перестает быть нулевой. Следовательно, если бы хоть в одной реализации схемы со всеми тремя открытыми каналами отсутствовало поле в канале "*p*", вероятность фотоотсчетов в детекторе "*s*" была бы ненулевой. А она нулевая! Итак, поле в канале накачки "*p*" присутствует в *каждой* реализации. Аналогично, перекрывая свет в других каналах, доказывается одновременное присутствие светового поля в *каждой* реализации в каналах парных фотонов "*s*" и "*i*". Другими словами, если бы при всех открытых каналах в каких-либо реализациях, т.е. запусках одиночного фотона накачки на вход, поле отсутствовало бы, по крайней мере, в одном из каналов, то вероятность фотоотсчетов на детекторе "*s*" была бы ненулевой. Значит, поле присутствует в *каждой* реализации во всех трех каналах "*p*", "*s*" и "*i*" между нелинейными кристаллами. Но одновременное присутствия всех трех фотонов невозможно в силу закона сохранения энергии: ведь на вход интерферометра подавался

всего один фотон накачки ($\beta(0)=0$), энергия которого вдвое меньше суммарной энергии всех трех фотонов.

В изложенной аргументации есть, однако, слабое звено: в реальности, как и в упомянутом выше эксперименте [13], вряд ли возможно достичь единичной видности (контраста) и отсутствия шумового фона. Значит, интерференционных «нулей» нет. Тем не менее, об одновременном присутствии поля во всех трех каналах свидетельствует сама косинусная зависимость вероятности $P_s = P_i$ (38) от суперпозиции фаз (32), подтвержденная экспериментально [13]. Действительно, если бы поле между нелинейными кристаллами (рис. 5) содержало то один, то два фотона (что дают прямые измерения) – от реализации к реализации – то $P_s = P_i$ можно было бы представить в виде суммы двух функций, одна из которых зависела бы только от Φ_p, а вторая – от Φ_s и Φ_i. Но $\cos(\Phi_p - \Phi_s - \Phi_i)$ не допускает такого представления.

Итак, число фотонов, а в более общем случае – измеряемая величина вообще – до момента измерения не имеет определенного значения, за исключением ситуации, когда объект измерения находится в собственном состоянии измеряемой величины. Суперпозиция одно- и двухфотонного состояний в схеме на рис. 5 приводит к их интерференции, что и доказывает априорное несуществование определенного числа квантов в поле до момента измерения. Это вызывает серьезные опасения в подлинности существования фотонов вообще.

Как писал Д.Н. Клышко: "Фотон является фотоном, если это зарегистрированный фотон" [6]. Источник и приемник нужно рассматривать в комплексе, не отрывая один от другого [8], с. 414. В квантовой теории это требование, как правило, выполняется автоматически: квантовая теория предсказывает лишь результаты измерений, а измерения предполагают наличие детекторов. Поэтому детекторы всегда присутствуют в задачах. Но это и означает, что мы не можем сказать ничего определенного о том, что происходит между рождением и уничтожением фотона. Точнее, нет той физической реальности, которая не может быть измерена. В этом смысле и фотон не является физической реальностью до момента его регистрации.

6. ЕСТЬ ЛИ У ФОТОНА ФАЗА?

В силу принципа неопределенностей Гейзенберга у фоковских состояний с определенным числом фотонов фаза (или ее косинус и синус, которые являются наблюдаемыми и описываются эрмитовыми операторами) полностью неопределенна. Но находится ли она в виде суперпозиции всех возможных ее значений или все же имеет какую-то неизвестную нам величину? Попытаемся ответить на этот вопрос, проанализировав эффекты подавления корреляции фотоотсчетов [17] и приготовления квантовых сжатых состояний при параметрическом рассеянии света (см., напр., [1]). Первый состоит в следующем (см. рис. 6). Если на один из входов 50%-ного светоделителя подать одиночный фотон, то с вероятностью ½ он окажется на одном из выходов, проявляя тем самым типично корпускулярные свойства. Но что если на каждый из входов светоделителя подать по фотону одновременно? Казалось бы, с вероятностями ¼ должно появиться по два фотона на одном из выходов, либо с вероятностью ½ по одному из фотонов на каждом выходе. На самом деле вероятность

второго события оказывается равной нулю, а фотоны на каждом из выходов светоделителя появляются только парами.

Теоретически этот результат можно описать как в представлении Гейзенберга, так и Шредингера. В первом вводятся операторы уничтожения фотона, описывающие две входные плоские монохроматические моды, $\hat{a}$ и $\hat{b}$. Операторы выходных мод в этом случае равны $\hat{c} = \left(\hat{a} + \hat{b}\right)/\sqrt{2}$ и $\hat{d} = \left(\hat{a} - \hat{b}\right)/\sqrt{2}$. Далее найдем операторы чисел фотонов $\hat{n}_c = \hat{c}^+\hat{c}$ и $\hat{n}_d = \hat{d}^+\hat{d}$, а затем их корреляционную функцию $\langle \hat{n}_c \hat{n}_d \rangle$, усреднив по исходному состоянию $|1\rangle_a |1\rangle_b$. В результате получится ${}_a\langle 1|_b \langle 1|\hat{c}^+\hat{c}\hat{d}^+\hat{d}|1\rangle_b |1\rangle_a = 0$.

В представлении Шредингера надо ввести матрицу светоделителя:

$$B = \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tau & -\rho \\ \rho & \tau \end{pmatrix}, \tag{39}$$

где ρ и τ – амплитудные коэффициенты отражения и пропускания светоделителя, соответственно, в нашем случае равные $1/\sqrt{2}$. Преобразование фоковских состояний $|n_1\rangle$, $|n_2\rangle$ на входах описывается действием оператора светоделителя [3, 21]:

$$\hat{B}|n_1, n_2\rangle = \frac{1}{\sqrt{n_1 n_2}} \sum_{k_1,k_2}^{n_1,n_2} C_{k_1}^{n_1} C_{k_2}^{n_2} B_{11}^{k_1} B_{12}^{k_2} B_{21}^{n_1-k_1} B_{22}^{n_2-k_2} \sqrt{(k_1+k_2)!(n_1+n_2-k_1-k_2)!}\,|k_1+k_2, n_1+n_2-k_1-k_2\rangle. \tag{40}$$

Для состояния $|1,1\rangle$ на входе имеются два слагаемых с состояниями $|1,1\rangle$ на выходе, но коэффициенты перед ними одинаковы и имеют противоположные знаки: $\tau^2|1,1\rangle - \rho^2|1,1\rangle$. Это означает, что на выходах такого состояния не будет.

Как интерпретировать этот результат? Казалось бы, согласно [21], с.79, его можно расценивать как проявление корпускулярно-волнового дуализма. Действительно, с одной стороны, фотоны ведут себя как частицы, демонстрируя одиночные и двойные фотоотсчеты, а с другой – как бы интерферируют на светоделителе как волны с определенной разностью фаз. С какой? Очевидно, 0 или π, чтобы на выходах светоделителя всегда оказывалось по 2 или 0 фотонов. Итак, фактически предполагается наличие определенной разности фаз у смешиваемых на светоделителе фотонов. Иначе не будет эффекта подавления корреляции фотоотсчетов. А наличие этой разности фаз как раз и является тем скрытым параметром, который полностью предопределяет исход эксперимента, т.е. мы имеем дело с теорией скрытых параметров в явном виде. Посмотрим, к каким следствиям приводит эта интерпретация.

Состояние $|1,1\rangle$ на входе светоделителя можно получить в результате параметрического рассеяния. Но при смешении на светоделителе сигнального и холостого пучков параметрического процесса происходит приготовление сжатых состояний света, характеризуемых подавлением квантовых флуктуаций одной из квадратурных компонент поля в ущерб другой. А совместимо ли такое приготовление с предположением о том, что между сигнальным и холостым пучками всегда должна быть разность фаз 0 или π, что следует из упомянутой выше интерпретации результата эксперимента, описанного в работе [17].

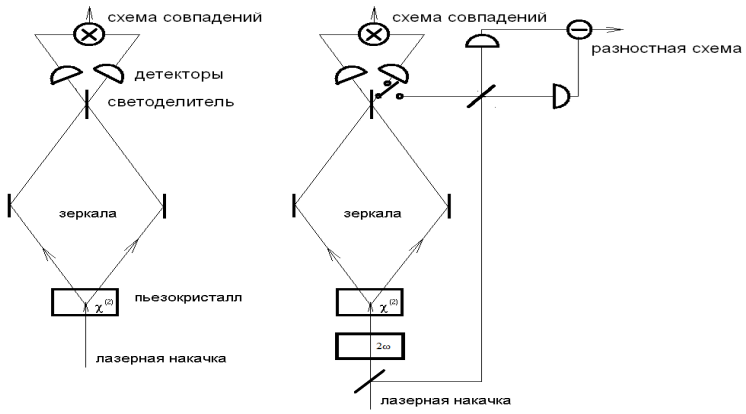


Рис. 6. *Схема наблюдения эффекта подавления взаимной корреляции фотонов (слева) и одновременной регистрации сжатого состояния (справа). В нелинейном кристалле, обычно пьезокристалле, генерируются пары фотонов, которые направляются на светоделитель и детектируются. Схема совпадений регистрирует одновременное прибытие фотонов на оба детектора (слева). Вероятность таких событий нулевая. Справа, с помощью схемы балансного гомодинного детектирования одновременно регистрируются флуктуации квадратурной компоненты поля. В эту схему излучение направляется переключателем режимов работы. Для согласования смешиваемых частот перед нелинейным кристаллом производится удвоение частоты лазерного излучения.*

Введем операторы уничтожения фотонов сигнального и холостого пучков: $\hat{a}$ и $\hat{b}$. Они описываются преобразованием Боголюбова операторов затравочных вакуумных мод $\hat{a}_0$ и $\hat{b}_0$:

$$\hat{a} = \mu\hat{a}_0 + \nu\hat{b}_0^+, \qquad \hat{b} = \mu\hat{b}_0 + \nu\hat{a}_0^+. \tag{41}$$

В одном из каналов введем фазовую задержку θ. Ясно, что на эффект подавления взаимной корреляции она никак не повлияет. Это легко следует и из вышеприведенного рассмотрения в представлении Гейзенберга. Но как фазовая задержка отразится на приготовлении сжатых состояний? Оператор уничтожения моды одного из выходов светоделителя, по-прежнему, обозначим $\hat{c} = \left(\hat{a} + \hat{b}\,\mathrm{e}^{\mathrm{i}\theta}\right)/\sqrt{2}$. Соответственно, квадратурная компонента равна $\hat{X} = \left(\hat{c} + \hat{c}^+\right)/2$. Найдем ее дисперсию:

$${}_a\langle 0|_b\langle 0|\hat{X}^2|0\rangle_b|0\rangle_a = \left(2 + \mu\nu e^{i\theta} + \mu^*\nu^* e^{-i\theta}\right)/8 = \left(1 + \mu\nu\cos\theta\right)/4. \tag{42}$$

при действительных μ и ν. Здесь усреднение произведено по вакуумным состояниям исходных затравочных мод и использовано $|\mu|^2 + |\nu|^2 = 1$, следующее из коммутационных соотношений $\left[\hat{a}, \hat{a}^+\right] = \left[\hat{b}, \hat{b}^+\right] = 1$.

Итак, мы получили, что эффект сжатия существенно зависит от фазы θ. Это и понятно, ведь на одном выходе светоделителя – свет в сжатом состоянии, а на другом – наоборот, с увеличенной дисперсией квадратуры, что соответствует изменению фазы на π. Но совместимо ли это с предположением, что разность фаз сигнального и холостого пучков с вероятностью ½ осциллирует, принимая значения 0 или π? Очевидно, нет, поскольку в этом случае при усреднении эффект сжатия полностью бы исчез. Итак, основная посылка о наличии определенной фазы фотона приводит к логическому противоречию, свидетельствующему о ее неадекватности.

Правда можно возразить, что в эксперименте подавления взаимной корреляции фотоотсчетов разность фаз фотонов одна, а при регистрации сжатых состояний – другая, несмотря на то, что исходное состояние на входах одно и то же. Попытаемся опровергнуть это возражение формально.

Введем в схеме эксперимента переключатель режимов (на рис. 6 – справа), который изменяет прямое детектирование правого детектора на балансное гомодинирование. Последнее регистрирует флуктуации квадратурной компоненты поля, и если их уровень ниже уровня вакуумного состояния, то можно констатировать приготовление сжатого состояния. В первой фазе эксперимента, наряду с фиксацией эффекта подавления взаимной корреляции фотонов, регистрируем скорость фотоотсчетов каждого из фотодетекторов. Затем переключаем схему во второй режим, когда наблюдается сжатое состояние. Если при этом разность фаз между фотонами изменилась со скачков 0 или π на постоянную разность фаз, что абсолютно необходимо для приготовления сжатого состояния, то должна измениться и скорость фотоотсчетов в левом детекторе, поскольку при фиксированной фазе 0 или π, фотоотсчетов либо не будет вообще, либо их станет вдвое больше. Вряд ли такое произойдет. Совершенно понятно, что скорость фотоотсчетов не изменится, поскольку, изменяя условия регистрации излучения, выходящего из одного выхода светоделителя, я никак не могу повлиять на результаты регистрации в другом. Это просто следует из принципа причинности и элементарных квантовых расчетов. Итак, разность фаз коррелированной фотонной пары действительно не имеет определенного значения, но находится в суперпозиции всех ее возможных величин.

Как же тогда интерпретировать эффект подавления взаимной корреляции фотоосчетов, если ни определенной фазы одиночных фотонов, ни их разности фаз не существует? По-видимому, дело в том, что, согласно феймнановской интерпретации квантовой теории [15], интерферируют не фотоны, а их альтернативные траектории. Действительно, как формируется состояние $|1,1\rangle$ на выходе светоделителя? Двумя способами: либо оба фотона проходят светоделитель, либо оба отражаются. Но в последнем случае за счет того, что один из фотонов отражается от более плотной среды, он приобретает фазовый набег π (см. также [22]). Оператор фазового набега $\hat{U}_\theta = e^{-i\theta\hat{n}}$ переводит состояние $|1,1\rangle$ в состояние $-|1,1\rangle$. Таким образом, обе возможные альтернативные траектории деструктивным образом интерферируют, подавляя взаимные корреляции. Этот простой и наглядный подход позволяет решать и более сложные задачи, связанные с преобразованием фоковских состояний светоделителем, не пользуясь сложным и громоздким оператором светоделителя (40).

Полученный здесь результат важен еще и потому, что отсутствие определенных значений измеряемых величин до момента измерения, является фундаментальным выводом квантовой теории в копенгагенской интерпретации. Известные до сих пор экспериментальные доказательства этого факта можно оспорить привлечением якобы неизвестных нам видов нелокальных взаимодействий, не ограниченных какими-либо областями светового конуса, а соответственно, и скоростью света. Это, во-первых, интерпретация Д. Бома [12] и следующие за ней различные виды нелокальных теорий скрытых параметров (см., напр., [5, 9, 18-20]), которые на чисто формальном языке могут объяснить, как нарушение неравенств Белла, так и многочисленные квантовые парадоксы. Например, интерференцию одиночных фотонов на двущелевом экране Юнга – трактовать как нелокальное «знание» фотона, проходящего через одну щель, о существовании другой. В описанном же здесь эксперименте для опровержения подобного рода утверждений имеются веские основания. Никакое нелокальное «знание» фотона о его будущей судьбе не может объяснить неизменности скорости фотоотсчетов на левом детекторе. Таким образом, отсутствие определенного значения разности фаз одиночных фотонов никак не может быть оспорено какой-либо гипотезой нелокального взаимодействия. Это существенно сужает круг возможных интерпретаций квантовой теории, конечно, не сводя их только к копенгагенской. Адекватное объяснение может дать и реляционная парадигма [4, 10].

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эксперименты по наблюдению интерференции одиночного фотона показывают, что представление о фотоне, как о летящей в пространстве частице, по крайней мере, наивно. Квантованное электромагнитное поле в **некоторых** проявлениях (взаимодействие с другими объектами – поглощение, излучение, рассеяние) ведет себя как частицы – фотоны, а в других проявлениях (распространение, интерференция и т.п.), как поле.

Конечно же, было бы неразумно сомневаться в физической реальности фотонов. Но хотелось бы только лишний раз подчеркнуть странное поведение этих квантовых объектов, и, по-видимому, невозможность их наглядного модельного представления, т.е. исчерпывающего объяснения характера их поведения в виде *модельной* физической реальности. В этой связи хотелось бы подчеркнуть, что электрическое поле не может быть аналогом волновой функции, поскольку первое представляет собой физическую величину, которую можно непосредственно измерить, а вторая – некую информационную характеристику, выявление которой требует множества экспериментальных реализаций и проведения процедуры квантовой томографии [3, 21]. Это отличие особенно ярко проявляется в однофотонной стоячей волне: электрическая составляющая поля в узлах нулевая, но значит ли это, что фотона там нет? Отнюдь. Ведь в узлах имеется магнитная составляющая, присутствие которой может быть обнаружено пронизывающими узлы релятивистскими электронами. Итак, пространственное распределение фотона в стоячей волне радикальным образом отличается от пространственного распределения электрического поля.

Подчеркнем также, что в квантовых измерениях отсутствие определенных значений измеряемых величин априори можно, таким образом, считать

экспериментально доказанным фактом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахманов С.А., Ахмедиев Н.Н., Белинский А.В. и др. Новые физические принципы оптической обработки информации. – М.: Наука, 1990. – Гл. 3. – 400 с.

2. Белинский А.В. Квантовая нелокальность и отсутствие априорных значений измеряемых величин в экспериментах с фотонами // УФН. – 2003. – Т. 173**,** вып. 8. **–** С. 905.

3. Белинский А.В. Квантовые измерения. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 182 с.

4. Белинский А.В., Владимиров Ю.С. Реляционно-статистическая природа закономерностей квантовой теории // Пространство, время и фундаментальные взаимодействия. – 2016. – № 1. – С. 32.

5. Ефремов Ю.С. Квантовая механика. Москва – Берлин: Директ – Медиа, 2015. – 457 с.

6. Клышко Д.Н. Квантовая оптика: квантовые, классические и метафизические аспекты // УФН. – 1994. – Т. 164. – С. 1187.

7. Клышко Д.Н. Об использовании квантовой флуктуации в качестве репера яркости света // Квантовая электроника. – 1977. – Т.4, вып. 5. – С. 1056.

8. Матвеев А.Н.. Атомная физика. – М.: Высшая школа, 1989. – С. 414.

9. Aspelmeyer M., Zeilinger A. A quantum renaissance // Physics World – 2008. – vol.7. – P. 22.

10. Belinsky A.V. On Space and Time in Quantum Paradoxes // Laser Physics. – 2002. – vol. 12. – pp. 939 – 940.

11. Belinsky A.V., Klyshko D.N. Interference of light of the third and fourth orders and the notion of a photone // Laser Physics. – 1996. – vol. 6. – pp. 1082 – 1091.

12. Bohm D. A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of “Hidden” Variables // Phys. Rev. – 1952. – vol. 85. – P. 166.

13. Burlakov A.V., Chekhova M.V., Klyshko D.N. et.al. Interference effects in spontaneous two-photon parametric scattering from two macroscopic regions // Phys. Rev. – 1997. – vol. A56. – P. 3214.

14. Fedrizzi A., Hamel D.R., Hubel H. et.al. Direct generation of three-photon polarization entanglement // Nature. – 2010. – vol. 466. – P. 601.

15. Feynman R.P., Hibbs A.R. Quantum mechanics and path integration. – McGraw–Hill, 1965. – 365 p.

16. Hong C.K., Mandel L. Experimental realization of f localized one-photon state // Phys. Rev. Lett. – 1986. – vol. 56. – P. 58.

17. Hong C.K., Mandel L., Ou Z.Y. Measurement of subpicosecond time intervals between two photons by interference // Phys. Rev. Lett. – 1987. – vol. 59. – P. 2044.

18. Gröblacher S., Kaltenbaek R., Paterek T. et.al. An experimental test of non-local realism // Nature. – 2007. – vol. 446. – P. 871.

19. Kakuyanagi K., Knee G.C., Yeh M-C. et al. A strict experimental test of macroscopic realism in a superconducting flux qubit. ArXiv:1601.03728v2 [quant-ph] 15 Jan 2016.

20. Leggett A.J. Nonlocal Hidden-Variable Theories and Quantum Mechanics: An Incompatibility Theorem // Found. of Phys. – 2003. – vol. 33. – P. 1469.

21. Leonhardt U. Measuring the Quantum State of Light. – Cambridge university press, 1997. – 194 P.

22. Mandel L., Wolf E. Optical coherence and quantum optics. – Cambridge University Press, 1995. – Ch. 12.12.2. – 1190 p.

23. Taylor G.I. Interference fringes with feeble light // Proc. Camb. Phil. Soc. – 1909. – vol. 15. – P. 114.

THE LIGHT INTERFERENCE AND THE LACK OF PARTICULAR MEASURED VALUES UNTIL THE MEASUREMENT (A PRIORI)

Belinsky A.V. (Dr. Sci. (Physics and Mathematics))

Lomonosov Moscow State University, Department of Physics, Moscow, Russian Federation

belinsky@inbox.ru

Abstract. The features of the behavior of photons in different experimental situations are considered. The variants of two-beam interference of a single photon, the possibility of forming by it «standing wave», and the three-beam interference are analyzed. The observation of these effects proves the lack of particular measured values until the measurement (a priori). For the three-beam interference there is no certain photon number until photodetection in the light field despite the fact that the system is in the energy state. On the basis of studying the effects of suppressing cross-correlation of photons on the beam splitter and the preparation of squeezed states proposed experimental proof of the lack of a specific value of the phase and the phase difference of photons in Fock states.

Keywords: Quantum theory interpretations, single photon interference, quantum measurements

REFERENCES

1. Akhmanov S.A., Akhmediev H.H., Belinskij A.V. i dr. Novye fizicheskie printsipy opticheskoj obrabotki informatsii. M.: Nauka, 1990, 400 p.

2. Belinskii A.V. Quantum nonlocality and the absence of a priori values for measurable quantities in experiments with photons. *Physics Uspekhi*, 2003, vol. 46, pp. 877–881.

3. Belinsky A.V. Kvantovye izmereniya: uchebnoe posobie. M.: BINOM. Laboratoriya znanij, 2008, 182 p.

4. Belinsky A.V., Vladimirov YU.S. Relyatsionno-statisticheskaya priroda zakonomernostej kvantovoj teorii. *Prostranstvo, vremya i fundamental'nye vzaimodejstviya*, 2016, no. 1, pp. 32-42.

5. Efremov Yu.S. Kvantovaya mekhanika. Moskva – Berlin: Direkt – Media, 2015, 457 p.

6. Klyshko D. N. Quantum optics: quantum, classical, and metaphysical aspects. *Phys. Usp.,* 1994, no. 37, pp. 1097–1122.

7. Klyshko D. N. Utilization of vacuum fluctuations as an optical brightness standard. *Soviet Journal of Quantum Electronics,* 1977, no. 7(5), pp. 591 – 595.

8. Matveev A.N. Atomnaya fizika. M.: Vysshaya shkola, 1989, pp. 414.

9. Aspelmeyer M., Zeilinger A. A quantum renaissance. *Physics World*, 2008, vol. 7, P. 22.

10. Belinsky A.V. On Space and Time in Quantum Paradoxes. *Laser Physics,* 2002, vol. 12, pp. 939 – 940.

11. Belinsky A.V., Klyshko D.N. Interference of light of the third and fourth orders and the notion of a photone. *Laser Physics,* 1996, vol. 6, pp. 1082 – 1091.

12. Bohm D. A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of “Hidden” Variables. *Phys. Rev.,* 1952, vol. 85, P. 166.

13. Burlakov A.V., Chekhova M.V., Klyshko D.N. et.al. Interference effects in spontaneous two-photon parametric scattering from two macroscopic regions. *Phys. Rev.*, 1997, vol. A56, P. 3214.

14. Fedrizzi A., Hamel D.R., Hubel H. et.al. Direct generation of three-photon polarization entanglement. *Nature*, 2010, vol. 466, P. 601.

15. Feynman R.P., Hibbs A.R. Quantum mechanics and path integration. McGraw–Hill. 1965, 365p.

16. Hong C.K., Mandel L. Experimental realization of f localized one-photon state. *Phys. Rev. Lett*., 1986, vol. 56, P. 58.

17. Hong C.K., Mandel L., Ou Z.Y. Measurement of subpicosecond time intervals between two photons by interference. *Phys. Rev. Lett*., 1987, vol. 59, P. 2044.

18. Gröblacher S., Kaltenbaek R., Paterek T. et.al. An experimental test of non-local realism. *Nature*, 2007, vol. 446, P. 871.

19. Kakuyanagi K., Knee G.C., Yeh M-C. et al. A strict experimental test of macroscopic realism in a superconducting flux qubit. ArXiv:1601.03728v2 [quant-ph] 15 Jan 2016.

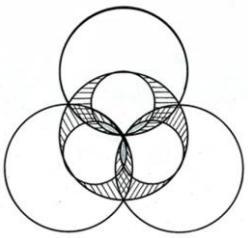
20. Leggett A.J. Nonlocal Hidden-Variable Theories and Quantum Mechanics: An Incompatibility Theorem. *Found. of Phys*., 2003, vol. 33, P. 1469.

21. Leonhardt U. Measuring the Quantum State of Light. Cambridge university press, 1997, 194 p.

22. Mandel L., Wolf E. Optical coherence and quantum optics. Cambridge University Press, 1995, Ch. 12.12.2, 1190 p.

23. Taylor G.I. Interference fringes with feeble light. *Proc. Camb. Phil. Soc*., 1909, vol. 15, P. 114.

УДК 517.938; 51-72



О ПРИРОДЕ И ФИЗИЧЕСКОЙ СУЩНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ АТОМА ВОДОРОДА

Магницкий Н.А. (д.ф.-м.н., проф.)
Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Москва, РФ;
ООО «Нью Инфлоу», Москва, РФ
n.magnitskii@newinflow.ru; nikmagn@gmail.com

Аннотация. Из детерминированных уравнений сжимаемого осциллирующего эфира, выведенных на основе законов классической механики, получены значения энергетических уровней основного, возбужденных и гидринных состояний атома водорода, являющиеся значениями энергии связи электрона с протоном. Объяснены опыты Штерна-Герлаха, Эйнштейна-де Гааза и Зеемана. Выведены формулы тонкой структуры атома водорода при отсутствии в модели эфира релятивистских эффектов и орбитального движения электрона.

Ключевые слова: уравнения эфира, атом водорода, энергия связи, основное, возбужденные и гидринные состояния, взаимодействие с магнитными полями, тонкая структура

1. ВВЕДЕНИЕ

Современная теоретическая физика постулирует существенное различие в подходах к описанию динамики движения микрочастиц и макрообъектов. Если движение макрообъектов подчиняется законам классической механики Ньютона, то состояния микрочастиц принято описывать уравнением Шредингера – основным уравнением нерелятивистской квантовой механики. В случае атома водорода уравнение Шредингера имеет вид

$$i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t}+\frac{\hbar^2}{2m_e}\Delta\psi+\frac{q^2}{r}\psi=0, \qquad (1)$$

где m_e - масса электрона, q - величина универсального заряда, $-q^2/r$ - потенциальная энергия взаимодействия электрона с ядром (протоном) в атоме водорода, r - расстояние между электроном и ядром.

Так называемая волновая функция ψ не имеет физического смысла. Некоторый, но никак не физический смысл, имеет квадрат модуля волновой функции $|\psi(\vec{r},t)|^2$ - плотность вероятности нахождения электрона в точке с координатами $\vec{r}=(x,y,z)$ в момент времени t. Представление решения уравнения (1) в виде

$$\psi(x,y,z,t)=g(x,y,z)e^{-\frac{i}{\hbar}Et} \qquad (2)$$

и дальнейшее решение задачи на собственные значения для полученного относительно функции $g(\vec{r})$ стационарного уравнения Шредингера, дает возможность определить некоторые дискретные уровни значений энергии:

$$E_n = -\frac{1}{n^2}\frac{m_e q^4}{2\hbar^2} = -\frac{1}{n^2}\frac{\alpha^2 m_e c^2}{2} = -\frac{\alpha^2 E_e}{2n^2},\ n = 1,2,3... \qquad (3)$$

где $\alpha = q^2/\hbar c \approx 1/137$ - постоянная тонкой структуры, E_e - энергия электрона. Разность полученных значений уровней энергии удивительным образом совпадает с энергией излученного фотона при переходе атома водорода из состояния n в состояние m с меньшей энергией

$$\hbar\nu = E_n - E_m = \frac{\alpha^2 E_e}{2}\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right),\ n > m, \qquad (4)$$

где R -постоянная Ридберга. Этот экспериментально подтвержденный факт является основным аргументом в пользу применимости физически бессмысленного уравнения Шредингера для описания атома водорода и других водородоподобных атомов. Вместе с тем, как было отмечено автором в работе [4], уравнение Шредингера не объясняет ни структуру атома водорода, ни сущность процессов поглощения и излучения атомом фотонов, ни причины появления квадратов в знаменателях уровней энергии, ни физическую сущность самих энергетических уровней. Само уравнение не вытекает из каких-либо более общих физических законов и постулирует физически бессмысленное нахождение микрочастицы одновременно в различных областях пространства. Кроме того, оно не описывает гидринные неизлучающие состояния атома водорода. В работе [4] автором показано, что детерминированные уравнения сжимаемого осциллирующего невязкого эфира, основы теории которого заложены в работах автора [1, 3-7, 9-10], допускают решения вида (3-4) для атома водорода, однако вывод уровня энергии основного состояния остался неудовлетворительным для автора, так как опирался на физически бессмысленные формальные рассуждения Н. Бора об орбитальном движении точечного электрона вокруг ядра атома (протона) и на физически необоснованную гипотезу о виде осцилляций плотности эфира внутри атома. Полное описание структуры атома водорода и сущности происходящих в нем физических процессов стало возможным после создания эфирных теорий протона, электрона и нейтрона [7].

В настоящей работе из системы уравнений эфира

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} + div(\rho\vec{u}) = 0,\ \frac{d\rho\vec{u}}{dt} = \frac{\partial(\rho\vec{u})}{\partial t} + (\vec{u}\cdot\nabla)(\rho\vec{u}) = 0, \qquad (5)$$

где $\rho(\vec{r},t)$ и $\vec{u}(\vec{r},t) = (u_1(\vec{r},t), u_2(\vec{r},t), u_3(\vec{r},t))^T$ - плотность и вектор скорости распространения возмущений плотности эфира, выведены значения уровней энергии для основного, возбужденных и гидринных состояний атома водорода, причем полностью объяснена структура атома водорода, выяснен смысл происходящих в атоме водорода физических процессов, причины появления квадратов в знаменателях уровней энергии и физическая сущность самих энергетических уровней. Без привлечения бессмысленных релятивистских и квантовомеханических соображений объяснены результаты опытов Штерна-Герлаха, Эйнштейна-де Гааза, Зеемана и тонкая структура атома водорода.

2. СТРУКТУРА АТОМА ВОДОРОДА

Считается, что атом водорода является простейшим атомом, состоящим из протона и электрона. Протон, как решение системы уравнений эфира (5) в стационарной сферической системе координат (см. [7]) является маленьким более плотным по сравнению со средней плотностью эфира ρ_0 шариком радиуса r_p, движение волны сжатий – растяжений плотности эфира внутри которого происходит по углу φ вокруг некоторой оси с постоянной угловой скоростью ω_p (линейной скоростью $\omega_p r\sin\theta$ так, что $\omega_p r_p = c$, где c - скорость света). Энергия протона равна $E_p = \hbar\omega_p = m_p c^2$, где m_p - масса протона, а $\hbar$ - постоянная Планка. Заряд протона равен универсальной величине $+q$. Вне шара протона (при $r > r_p$) плотность распределения напряженности электрического поля полуволны породившего протон свернутого фотона равна

$$\vec{E}_0(r,\theta,\varphi,t) = \frac{c\rho_0}{2r^2}V_p(\theta)\sin((\omega_p t-\varphi)/2)\vec{r}, \qquad 0 \le \xi = \omega_p t-\varphi < 2\pi,$$

а движение волн сжатий – растяжений плотности эфира происходит по углу φ с постоянной линейной скоростью $c\sin\theta$ ($\vec{r}$ - единичный вектор).

Электрон является большим менее плотным по сравнению со средней плотностью эфира ρ_0 шариком радиуса $r_e >> r_p$, движение волны сжатий – растяжений плотности эфира внутри которого происходит по углу φ вокруг некоторой оси с постоянной угловой скоростью ω_e (линейной скоростью $\omega_e r\sin\theta$, так что $\omega_e r_e = c$) в противоположном волне протона направлении. Энергия электрона равна $E_e = \hbar\omega_e = m_e c^2$. Заряд электрона равен универсальной величине $-q$. Вне шара электрона (при $r > r_e$) плотность распределения напряженности электрического поля полуволны породившего электрон свернутого фотона равна

$$\vec{E}_0(r,\theta,\varphi,t) = \frac{c\rho_0}{2r^2}V_e(\theta)\sin((\omega_e t-\varphi)/2)\vec{r}, \qquad -2\pi \le \xi = \omega_e t-\varphi < 0,$$

а движение волн сжатий – растяжений плотности эфира происходит по углу φ с постоянной линейной скоростью $c\sin\theta$.

В теории сжимаемого осциллирующего эфира шары всех протонов и электронов в атомах и атомных ядрах имеют общий центр и общую ось вращения волн сжатий-растяжений плотности эфира, но направления вращения (спины) волн могут либо совпадать, либо быть противоположными. Нейтрон является простейшей суперпозицией волн протона и электрона с однонаправленными спинами, а атом водорода - простейшей суперпозицией волн протона и электрона с противоположными спинами. Поэтому смысл связи протона и электрона в атоме водорода состоит в том, что при некотором $r > r_{св}$ поля электрона и протона взаимно компенсируются (при $r_{св} \to \infty$ связь отсутствует). Потеря энергии $E_{\text{св}}$ (энергии связи) происходит путем уменьшения угловой скорости ω_e электрона, что является следствием воздействия на

электрон двух полуволн свернутого фотона, являющихся решениями системы уравнений эфира (5) в стационарной сферической системе координат, т.е. двух шаров радиуса r_e, внутри которых происходит движение волны сжатий либо волны растяжений плотности эфира с постоянной угловой скоростью $\omega_{св}$ (линейной скоростью $\omega_{св} r \sin\theta$) в противоположном волне электрона направлении. В работе [4] такая волновая структура, названа никроном. Одна полуволна никрона компенсирует поле электрона, а другая – поле протона.

Энергия никрона, являющаяся кинетической энергией электрона и равная энергии связи и энергии породившего никрон фотона (или испущенного электроном фотона), находится по формуле (см. [7]):

$$E_{nik} = 2\left(\frac{\hbar}{c}\right)(\omega_{св})^2 r_e = E_{св} = \frac{m_e v^2}{2} = E_{ph}\,. \qquad (6)$$

Таким образом, атом водорода в любом состоянии имеет структуру, изображенную на рис. 1. Вне шара радиуса $r_{св}$ поля электрона и протона компенсированы никроном. Размер атома (его радиус) определяется радиусом $r_{св}$. Чем меньше энергия связи, тем больше размер атома.

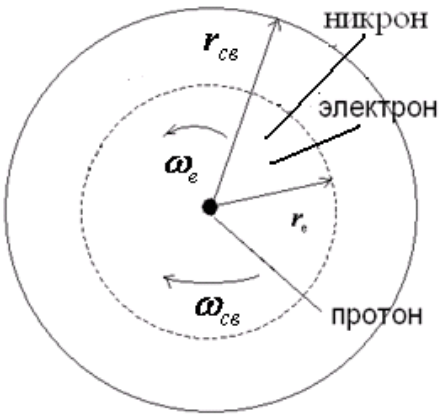


Рис. 1. *Эфирная структура атома водорода.*

Вычислим энергию связи протона и электрона, воспользовавшись формулой

$$E_{св} = \frac{1}{2}\int_{r>r_{св}} \delta\varphi dV\,, \qquad (7)$$

где δ - плотность распределения заряда электрона вне шара радиуса $r = r_{св}$, $\varphi = \frac{q}{r}$ – потенциал поля протона в этой области пространства. Коэффициент $1/2$ появляется в (7) из-за равенства связей вида $q_i\left(\frac{q_j}{r}\right) = q_j\left(\frac{q_i}{r}\right)$. Так как (см. [7])

$$\delta = \frac{1}{4\pi} div\vec{E}_0 = \frac{1}{4\pi} div\left(\frac{c\rho_0}{2r^2} V_e(\theta)\sin((\omega_e t - \varphi)/2)\vec{r}\right),$$

то

$$E_{св} = \frac{1}{8\pi}\int\limits_{r>r_{св}} \varphi\, div\, \vec{E}_0 dV = \frac{1}{8\pi}\left[\int\limits_{r>r_{св}} div(\varphi \vec{E}_0)dV - \int\limits_{r>r_{св}} \vec{E}_0\, grad\,\varphi dV\right] =$$

$$\frac{1}{8\pi}\left[\oint\limits_S \varphi \vec{E}_0 dS - \int\limits_{r>r_{св}} \vec{E}_0\, grad\,\varphi dV\right] \approx -\frac{1}{8\pi}\int\limits_{r>r_{св}} \vec{E}_0\, grad\varphi\, dV,$$

поскольку интегралом по поверхности можно пренебречь вследствие того, что $S \sim r^2$, $\varphi \vec{E}_0 \sim \frac{1}{r^3}$. Следовательно,

$$E_{св} = -\frac{1}{8\pi}\int\limits_{r>r_{св}} \vec{E}_0\, grad\,\varphi dV = \frac{1}{8\pi}\int\limits_0^{\pi}\int\limits_0^{2\pi}\int\limits_{r_{св}}^{\infty} \frac{c\rho_0}{2r^2} V_e(\theta)\sin(\xi/2)\vec{r}\,\frac{q}{r^2}\vec{r}\,r^2\sin\theta dr d\xi d\theta =$$

$$\frac{c\rho_0 q V_q}{4\pi}\int\limits_{r_{св}}^{\infty}\frac{dr}{r^2} = \frac{c\rho_0 q V_q}{4\pi r_{св}} = \frac{q^2}{2r_{св}}, \qquad (8)$$

так как $q = c\rho_0 V_q / 2\pi$ (см. [7]).

3. ОСНОВНОЕ СОСТОЯНИЕ АТОМА ВОДОРОДА

Сначала найдем из (6) и (8) параметры основного состояния атома водорода. Пусть в (6) $v = \alpha c$, где $\alpha \ll 1$ - подлежащая определению постоянная. Тогда (6) с учетом (8) можно переписать в виде

$$E_{nik} = 2\left(\frac{\hbar}{c}\right)(\omega_{св})^2 r_e = E_{св} = \frac{q^2}{2r_{св}} = \frac{m_e(\alpha c)^2}{2} = \frac{\alpha^2\hbar\omega_e}{2} = \frac{\alpha^2 E_e}{2} = E_{ph}. \qquad (9)$$

Из результатов работы [7] следует, что фотон с энергией $E_{ph} = \hbar\omega_{ph}$ сворачивается в шар радиуса $r_{ph} = c/\omega_{ph}$, внутри которого волна сжатий-растяжений плотности эфира двигается вокруг оси по каждой параллели с угловой скоростью ω_{ph} и имеет внутреннюю энергию $\hbar\omega_{ph}$ и массу $m = \frac{E_{ph}}{c^2}$. Вне шара при каждом $r > r_{ph}$ волна двигается с постоянной линейной скоростью $c\,sin\theta$. Вычислим энергию E пакета волн свернутого фотона при $r > r_{ph}$. Для этого разобьем полуось $r_{ph} < r < \infty$ на интервалы $\Delta r = r_{n+1} - r_n$, $r_0 = r_{ph}$. На каждом отрезке Δr будем приближенно считать, что линейная скорость движения волны равна $W_n = \omega_n r sin\theta$, где $\omega_n = c/r_{n+1}$, $r_n < r < r_{n+1}$. Энергию ε_n n-го слоя вычислим по формулам работы [5]:

$$A_n(t) = \int\limits_0^{\pi}\int\limits_0^{2\pi}\int\limits_{r_n}^{r_{n+1}} \Lambda F\,\omega_n r\sin\theta\, r^2\sin\theta\, dr d\varphi d\theta/\omega_n = \frac{1}{2}\int\limits_0^{\pi}\int\limits_0^{2\pi}\int\limits_{r_n}^{r_{n+1}} \rho_0^2(\omega_n/2)^2 V^2(\theta)\frac{\partial}{\partial\varphi}(\varphi\sin((\omega_n t -$$

$$-\varphi)/2))^2\sin^3\theta\, dr\, d\varphi\, d\theta = 2\rho_0^2(\omega_n/2)^2\pi^2 V_{\varepsilon}(r_{n+1}-r_n)\sin^2(\omega_n t/2), \quad \varepsilon_n = \hbar\omega_n^2(r_{n+1}-r_n)/c.$$

Суммируя энергии всех слоев и переходя к пределу при $\Delta r \to 0$, получим

$$E = \lim_{\Delta r \to 0} \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n = \lim_{\Delta r \to 0} \sum_{n=0}^{\infty} \hbar \omega_n^2 (r_{n+1} - r_n)/c = \hbar \int_{r_{ph}}^{\infty} \frac{\omega^2(r)}{c} dr = \hbar \int_{r_{ph}}^{\infty} \frac{c}{r^2} dr = \hbar \omega_{ph}.$$

Следовательно, импульс пакета волн свернутого фотона при $r_{ph} < r < \infty$ равен $p_{ph} = \hbar \omega_{ph}/c$.

Пусть в основном состоянии размер атома водорода равен r_1. Это значит, что никрон с энергией E_1 и угловой скоростью распространения волны ω_1 является сжатым до размеров электрона свернутым фотоном той же энергии, но с угловой скоростью распространения волны $\omega_{ph} = c/r_1$. Будем считать, что в основном состоянии в атоме водорода вместе с законом сохранения энергии должен также выполняться и закон сохранения импульса. Тогда импульс, переданный никрону электроном (либо полученный электроном от фотона) должен равняться импульсу пакета волн свернутого фотона при $r > r_1$, то есть

$$p_{ph} = \hbar \omega_{ph}/c = \frac{\hbar}{r_1} = p_{nik} = \sqrt{2 m_e E_1} = \sqrt{4 m_e \hbar (\omega_1)^2/\omega_e} = 2 \frac{\hbar}{c} \omega_1. \qquad (10)$$

Следовательно, в основном состоянии $\omega_1 = c/2r_1$. Подставляя последнее выражение в (9), найдем, что в основном устойчивом состоянии атома водорода

$$r_1 = \frac{r_e}{\alpha}, \quad \omega_1 = \frac{\alpha c}{2 r_e} = \frac{\alpha \omega_e}{2}, \quad E_1 = E_{ph1} = \frac{\alpha^2 \hbar \omega_e}{2} = \frac{\alpha^2 E_e}{2}, \quad \alpha = \frac{q^2}{\hbar c},$$

что полностью согласуется с экспериментальными данными и позволяет также найти значение постоянной тонкой структуры α.

4. ВОЗБУЖДЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ АТОМА ВОДОРОДА

Возбужденным состояниям атома водорода с меньшей энергией связи E_n соответствуют состояния никрона, в которых угловые скорости волн сжатий-растяжений плотности эфира по углу φ вступают в резонанс с угловой скоростью волны в основном состоянии, т.е. $\omega_n = \frac{\omega_1}{n} = \frac{\alpha \omega_e}{2n}$. При этом, как следует из (9),

$$E_n = E_{nik\,n} = 2\left(\frac{\hbar}{c}\right)\left(\frac{\alpha \omega_e}{2n}\right)^2 r_e = \frac{q^2}{2 r_n} = \frac{\alpha^2 E_e}{2 n^2} = E_{ph\,n}, \quad r_n = \frac{r_e}{\alpha} n^2 = r_1 n^2. \qquad (11)$$

Следовательно, при переходе атома водорода на более высокий уровень возбуждения с меньшей энергией связи и большим радиусом атома требуется затратить дополнительную энергию, а при переходе атома водорода на более низкий уровень возбуждения с большей энергией связи и меньшим радиусом атома происходит высвобождение определенного количества энергии. И этот процесс поглощения-излучения фотонов атомом водорода описывается формулами (4), что полностью подтверждается экспериментальными данными. Заметим, что все возбужденные состояния атома водорода являются неустойчивыми состояниями, так как в них не выполняется закон сохранения импульса, т.е. для любого $n > 1$

$$p_{ph\,n} = \frac{\hbar}{r_n} = \frac{\hbar}{r_1 n^2} < p_{nik\,n} = \sqrt{2 m_e E_n} = 2 \frac{\hbar}{c} \omega_n = \frac{\hbar}{r_1 n}.$$

Поэтому, находясь в возбужденном состоянии, атом водорода стремится перейти в устойчивое основное состояние, что сопровождается увеличением энергии

связи посредством излучением фотона в соответствии с формулой (4), где под E_n со знаком «+» надо понимать энергию связи, соответствующую энергии никрона с $\omega = \omega_n$.

5. ГИДРИННЫЕ СОСТОЯНИЯ АТОМА ВОДОРОДА

Очевидно, что угловые скорости волн сжатий-растяжений плотности эфира в никронах могут вступать в резонанс с угловой скоростью волны никрона в основном состоянии не только, когда $\omega_n = \omega_1 / n,$ но и когда $\omega_n = n\omega_1$. Такие состояния атома водорода называются гидринными состояниями. В них энергии и радиусы связи (радиусы атома) равны

$$E_n = 2\left(\frac{\hbar}{c}\right)\left(\frac{n\alpha\omega_e}{2}\right)^2 r_e = \frac{q^2}{2r_n} = \frac{n^2\alpha^2 E_e}{2}, \qquad r_n = \frac{r_e}{\alpha n^2} > r_e.$$

Переход атома водорода в гидринное состояние с меньшим радиусом и большей энергией связи должен сопровождаться уменьшением энергии атома и, следовательно, высвобождением энергии во внешнюю среду. Однако, это не может быть излучением фотонов, так как в гидринном состоянии также не выполняется закон сохранения импульса, т.е. для любого $n > 1$

$$p_{ph,n} = \frac{\hbar}{r_n} = \frac{\hbar}{r_1} n^2 > p_{nik,n} = \sqrt{2m_e E_n} = 2(\frac{\hbar}{c})\omega_n = \frac{\hbar}{r_1} n,$$

и, следовательно, для атома водорода, находящегося в гидринном состоянии, естественным должен быть процесс поглощения фотона и переход в устойчивое основное состояние. Таким образом, если и существует возможность перехода атома водорода в гидринное состояние (например, при участии катализаторов, как предполагается в [11]), то механизм этого перехода остается пока неясным.

6. ЭКСПЕРИМЕНТЫ ШТЕРНА-ГЕРЛАХА, ЭЙНШТЕЙНА-ДЕ ГААЗА И ЗЕЕМАНА

Опыты, поставленные Штерном и Герлахом в 1922 г., показали, что узкий пучок атомов водорода под действием магнитного поля расщепляется на два пучка, одинаково отклоняющиеся в противоположные стороны и расположенные симметрично относительно пучка в отсутствие магнитного поля. В современной квантовой механике опыты Штерна и Герлаха объясняются наличием у электрона собственного механического момента импульса (спина), причем утверждается, что спин электрона – исключительно квантовая величина, не имеющая классического аналога. Последнее утверждение, очевидно, не соответствует действительности. В рассматриваемой нами теории сжимаемого осциллирующего эфира, основанной на законах классической механики Ньютона, спины электрона и протона существуют и направлены вдоль оси движения волн сжатий – растяжений плотности эфира внутри частиц. Существуют также собственные магнитные моменты электрона, протона и нейтрона, причем магнитный момент электрона равен практически двум магнетонам

Бора (2,0023μ_B,) что соответствует результатам экспериментов Эйнштейна-де Гааза (см.[2], [7]). Но нет орбитального движения электрона и, следовательно, у электрона нет орбитального момента. Поэтому неудивительно, что наблюдаемое в экспериментах Штерна-Герлаха расщепление атомарного пучка не связано с орбитальным движением электрона, а связано исключительно с существованием у электрона собственного магнитного момента. В этом случае на магнитный момент электрона, находящийся во внешнем неоднородном магнитном поле, будет действовать сила, направленная вдоль градиента магнитного поля и пропорциональная как самому градиенту, так и проекции магнитного момента электрона на направление градиента. То, что исходный пучок водородных атомов расщепляется на две части, является естественным следствием существования только двух проекций магнитного момента электрона (ось электрона направлена по градиенту поля или противоположно ему).

Эффектом Зеемана называется расщепление энергетических уровней атомов в магнитном поле, приводящее к расщеплению спектральных линий в спектрах атомов.

Различают простой (нормальный) и аномальный эффекты Зеемана. В случае простого эффекта энергия связи возбужденного состояния атома водорода (без учета его тонкой структуры) состоит из энергии никрона (11) и энергии связи магнитного момента электрона с постоянным внешним магнитным полем напряженности $\vec{H}$, что является следствием воздействия на заряд электрона силы Лоренца. Для электронов, ось которых направлена перпендикулярно магнитному полю, сила Лоренца направлена параллельно оси для любого $0 < r \le r_e$ и не вызывает изменения угловой скорости движения волн плотности эфира внутри шара электрона. Для таких электронов угловая скорость волны никрона равна ω_n , а энергия связи равна E_n. Для электронов, ось которых направлена вдоль магнитного поля или противоположно направлению магнитного поля, сила Лоренца в любой точке электрона с координатами (r, θ, φ) направлена либо к оси электрона, либо в противоположную от оси сторону. Это приводит либо к сжатию, либо к расширению электрона с увеличением либо уменьшением угловой скорости движения волн плотности эфира, то есть к появлению двух новых частот $\omega_n + \Delta\omega$ или $\omega_n - \Delta\omega$. Энергию U, соответствующую частоте $\Delta\omega$ и равную энергии связи магнитного момента электрона с постоянным внешним магнитным полем напряженности $\vec{H}$, найдем по формуле (8), в которой $grad\,\varphi = \vec{H}$, $\vec{E}_0$ - напряженность электрического поля внутри шара электрона (см. [7]):

$$\vec{E}_0(r,\theta,\varphi,t) = \frac{\omega_e\,\rho_0}{2r} V(\theta)\sin((\omega_e t - \varphi)/2)\,\vec{r}, \qquad -2\pi \le \xi = \omega_e t - \varphi < 0,$$

а интегрирование ведется по шару электрона, причем в этом случае коэффициент $1/2$ в формуле отсутствует. Следовательно,

$$\mathrm{U} = \hbar\Delta\omega = -\frac{1}{4\pi}\int\limits_{r\le r_e} \vec{E}_0\, grad\,\varphi dV = \frac{1}{4\pi}\int_0^{\pi}\int_0^{2\pi}\int_0^{r_e} \frac{\omega_e\rho_0}{2r} V(\theta)\sin(\xi/2)\,H\,r^2\sin\theta dr d\xi d\theta =$$

$$= \frac{\omega_e\rho_0 V_q H}{2\pi}\frac{r_e^2}{2} = \frac{c\rho_0 V_q H r_e}{4\pi} = \frac{q r_e H}{2} = \mu_B H, \qquad (12)$$

где μ_B - магнетон Бора, имеющий в системе СГС вид:

$$\mu_B = \frac{q\hbar}{2m_e c} = \frac{q\, r_e}{2}.$$

Следовательно, в спектре излучения атома водорода появляется триплет Зеемана с частотами $\omega_n - \Delta\omega$, ω_n, $\omega_n + \Delta\omega$, причем интенсивность средней линии с частотой ω_n в два раза сильнее, чем интенсивности крайних линий, равные между собой.

7. ТОНКАЯ СТРУКТУРА АТОМА ВОДОРОДА

Под тонкой структурой понимается расщепление энергетических уровней E_n атома водорода (11) на два подуровня. Расщепление является слабым и поэтому должно определяться не электрическими, а магнитными взаимодействиями. Современная физическая наука трактует расщепление энергетических уровней как следствие двух релятивистских факторов: зависимости массы электрона от его скорости при движении вокруг атомного ядра и спин-орбитального взаимодействия магнитного момента электрона с магнитным полем, индуцированным его орбитальным движением. В рассматриваемой нами теории сжимаемого осциллирующего эфира отсутствуют как релятивистские эффекты, так и орбитальное движение электрона вокруг ядра, поэтому оба упомянутых выше фактора являются надуманными и не могут описывать тонкую структуру. Покажем, что расщепление энергетических уровней является следствием расщепления никрона на две полуволны, имеющие магнитные моменты разных знаков, и их взаимодействия с магнитным полем, создаваемым движением волны электрона в поле протона.

Сначала найдем напряженность магнитного поля, создаваемого в окрестности $r = 0$ движением плотности зарядов электрона в электрическом поле ядра (протона) в области $r > r_n$:

$$\vec{H} = \frac{1}{c}[\vec{E} \times \vec{v}],$$

где $\vec{E} = \frac{q}{r^2}\vec{r}$ – напряженность электрического поля протона, $v \approx c$ при $r > r_n$. Следовательно, $H = \frac{q}{r^2}$. Вычислим теперь магнитные моменты полуволн никрона. Как уже было отмечено выше, свернутая и сжатая волна никрона подобно свернутой волне фотона, порождающей пару шаров элементарных частиц (например, электрон-позитрон с противоположными зарядами и магнитными моментами), порождает два шара двух полуволн с угловыми скоростями движения вокруг оси $\omega_n = \frac{\omega_1}{n} = \frac{\alpha\omega_e}{2n}$ и с радиусом r_e. Шар, в котором эфир слегка сжат, имеет положительный заряд и положительный магнитный момент, а шар, в котором эфир слегка разрежен, имеет отрицательный заряд и отрицательный магнитный момент. Абсолютные значения магнитных моментов полуволн никрона в системе СГС находим по формуле (12) работы [7], поделив значение момента на c:

$$p_{mn} = \pm\frac{1}{c}\frac{\rho_0\omega_n^2 r_e^3 V_m}{3},$$

где $V_m = \frac{3q}{\rho_0 c}$, что следует из значения магнитного момента для электрона

$$p_{me} = -\frac{4\pi V_m}{3V_q}\frac{q\,r_e}{2} \approx 2\mu_B,\ \ q = c\rho_0 V_q / 2\pi.$$

Следовательно,

$$p_{mn} = \pm\frac{1}{c}\frac{\rho_0\omega_n^2 r_e^3 3q}{3\rho_0 c} == \pm\frac{qr_e^3}{c^2}\left(\frac{\alpha\omega_e}{2n}\right)^2 = \pm\frac{\alpha^2 q r_e}{4n^2}.$$

Линейные плотности магнитных моментов двух полуволн никрона равны, соответственно,

$$q_{mn} = \frac{p_{mn}}{r_e} = \pm\frac{\alpha^2}{4n^2}q. \qquad (13)$$

Найдем теперь энергии связей магнитных моментов полуволн никрона с магнитным полем электрона, создаваемым движением его волн в поле протона при $r > r_n$:

$$U_n = \mp\int_{r_n}^{\infty} q_{mn}\,H dr = \mp\int_{r_n}^{\infty}\frac{\alpha^2 q}{4n^2}\frac{q}{r^2}dr = \mp\frac{\alpha^2 q^2}{4n^2 r_n} = \mp\frac{\alpha^2 q^2(\alpha\omega_e)}{4n^4 c} = \mp\frac{\alpha^4\hbar\omega_e}{4n^4}. \qquad (14)$$

Так как поле электрона взаимодействует только с одной полуволной никрона, то с учетом найденной поправки энергия связи каждого энергетического уровня атома водорода может быть записана в виде

$$E_n = \frac{\alpha^2 E_e}{2n^2} \mp \frac{\alpha^4 E_e}{4n^4} = \frac{\alpha^2 E_e}{2n^2}\left(1 \mp \frac{\alpha^2}{2n^2}\right), \qquad (15)$$

что означает расщепление каждого энергетического уровня на два подуровня. Например, второй уровень атома водорода расщепляется на два подуровня, разность энергий которых равна

$$E_{n1} - E_{n2} = \frac{\alpha^4 E_e}{32},$$

что полностью согласуется с экспериментальными данными (см., например, [8]).

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе, исходя из уравнений эфира, выведенных на основе здравого смысла и законов классической механики, получены значения энергетических уровней основного, возбужденных и гидринных состояний атома водорода, совпадающие с хорошо известными экспериментальными значениями. Объяснена структура атома водорода, выяснен смысл происходящих в атоме водорода физических процессов, причины появления квадратов в знаменателях уровней энергии и физическая сущность самих энергетических уровней как значений энергий связи электрона с ядром. Без привлечения бессмысленных релятивистских и квантовомеханических соображений объяснены результаты опытов Штерна-Герлаха, Эйнштейна-де Гааза и Зеемана, получены формулы тонкой структуры атома водорода.

Работа выполнена в компании ООО “Нью Инфлоу” (Москва, Россия).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бычков В.Л., Зайцев Ф.С., Магницкий Н.А. Обобщенные уравнения Максвелла-Лоренца как следствия уравнений эфира // Сложные системы. – 2015. – № 4(17). – С. 59-70.

2. Дрелл С.Д., Захариазен Ф. Электромагнитная структура нуклонов. – ИЛ, 1962. – 175 с.

3. Зайцев Ф.С., Магницкий Н.А. О размерностях переменных и некоторых свойствах системы уравнений физического вакуума (эфира) // Сложные системы. – 2012. – № 1 (3). – С. 93-97.

4. Магницкий Н.А. Эфирная модель атома водорода // Сложные системы. – 2012. – № 3(4). – С.78-86.

5. Магницкий Н.А. К электродинамике физического вакуума // Сложные системы. – 2011. – № 1. – С. 83-91.

6. Магницкий Н.А. Физический вакуум и законы электромагнетизма // Сложные системы. – 2012. – № 1(2). – С. 80-96.

7. Магницкий Н.А. Структурные единицы материи как решения системы нелинейных уравнений эфира // Сложные системы. – 2014. – № 4 (13). – С. 61-80.

8. Шпольский Э.В. Атомная физика. – Т.2. – Наука, 1974. – 447 с.

9. Magnitskii N.A. Mathematical Theory of Physical Vacuum // Comm. Nonlin. Sci. and Numer. Simul., Elsevier. – 2011. – no. 16. – pp.2438-2444.

10. Magnitskii N.A. Theory of elementary particles based on Newtonian mechanics. In “Quantum Mechanics/Book 1”- InTech, 2012. – p.107-126.

11. Mills L. The grand unified theory of classical physics. – Blacklight Power Inc., 2010. – vol. 1-3. – 1765 p.

ON THE NATURE AND PHYSICAL ESSENCE OF ENERGY LEVELS OF HYDROGEN ATOM

N.A. Magnitskii (Dr. Sci. (Physics and Mathematics))
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation;
«New Inflow» Ltd., Moscow, Russian Federation
n.magnitskii@newinflow.ru; nikmagn@gmail.com

Abstract. From deterministic equations of compressible oscillating ether derived based on the laws of classical mechanics, the values of the energy levels of the ground, excited and hydrino states of the hydrogen atom are obtained, which are the values of the electron binding energy with the proton. The Stern-Gerlach, Einstein-de Haas and Zeeman experiments are clarified. The formulas of the fine structure of the hydrogen atom are obtained in the absence of relativistic effects and the orbital motion of the electron in the considered ether model.

Key words: ether equations, hydrogen atom, binding energy, ground, excited and hydrino states, the interaction with the magnetic fields, the fine structure

REFERENCES

1. Bychkov V.L., Zajcev F.S., Magnickij N.A. Obobshhennye uravnenija Maksvella-Lorenca kak sledstvija uravnenij jefira [The Generalized Maxwell-Lorentz equations as a consequence of the ether equations] *Slozhnye sistemy – The complex systems*, 2015, no. 4(17), pp. 59-70.

2. Drell S.D., Zahariazen F. Jelektromagnitnaja struktura nuklonov. IL, 1962. 175 p.

3. Zajcev F.S., Magnickij N.A. O razmernostjah peremennyh i nekotoryh svojstvah sistemy uravnenij fizicheskogo vakuuma (jefira) [On dimensions of variables and some properties of system of the physical vacuum (ether) equations] *Slozhnye sistemy – The complex systems*, 2012, no. 2 (3), pp. 93-97.

4. Magnickij N.A. Jefirnaja model' atoma vodoroda [Ether model of atom of hydrogen] *Slozhnye sistemy – The complex systems*, 2012, no. 3(4), pp.78-86.

5. Magnickij N.A. K jelektrodinamike fizicheskogo vakuuma [To electrodynamics of physical vacuum] *Slozhnye sistemy – The complex systems*, 2011, no. 1, pp. 83-91.

6. Magnickij N.A. Fizicheskij vakuum i zakony jelektromagnetizma [Physical vacuum and electromagnetic laws] *Slozhnye sistemy – The complex systems*, 2012, no. 1(2), pp. 80-96.

7. Magnickij N.A. Strukturnye edinicy materii kak reshenija sistemy nelinejnyh uravnenij jefira [Structural units of matter as solutions of the system of nonlinear ether equation] *Slozhnye sistemy – The complex systems*, 2014, no. 4 (13), pp. 61-80.

8. Shpol'skij Je.V. Atomnaja fizika. T.2, Nauka, 1974, 447 p.

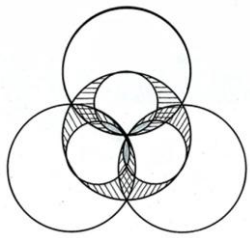
9. Magnitskii N.A. Mathematical Theory of Physical Vacuum. Comm. Nonlin. Sci. and Numer. Simul., Elsevier, 16, 2011, pp. 2438-2444.

10. Magnitskii N.A. Theory of elementary particles based on Newtonian mechanics. In "Quantum Mechanics/Book 1"- InTech, 2012, pp.107-126.

11. Mills L. The grand unified theory of classical physics. Blacklight Power Inc., 2010, vol.1-3, 1765 p.

УДК 911, 656.6.052

ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРА ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ И ЛЕДОВИТОСТИ АРКТИКИ



Холопцев А.В.[1] (д.геогр.н., проф.)**,**
Кононова Н. К.[2] (к.геогр.н.)
[1]*ФГБОУ Севастопольский Государственный Университет, каф. судовождения и безопасности судоходства, г. Севастополь, РФ;*
[2] *Институт географии РАН, г. Москва, РФ*
[1]***kholoptsev@mail.ru;*** [2]***NinaKononova@yandex.ru***

Аннотация. Выявлены устойчивые и статистически значимые связи межгодовых изменений среднемесячных значений ледовитости в августе и сентябре некоторых районов Арктики, с опережающими их по времени вариациями суммарной продолжительности периодов действия летних элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ), относящихся к группам меридиональная северная (МС) и меридиональная южная (МЮ). Большинство выявленных районов расположены в Дальневосточном и Тихоокеанском секторах Арктики.

Ключевые слова: ледовитость, акватории Арктики, атмосферная циркуляция, элементарный циркуляционный механизм, повторяемость, связь

ВВЕДЕНИЕ

Изменения ледовитости Арктики значимо влияют на климат, состояние ландшафтных комплексов и условия жизни населения многих регионов нашей планеты, а также определяют безопасность судоходства на ее водных путях [16]. Поэтому совершенствование методик их прогнозирования является актуальной проблемой климатологии, физической географии, а также эксплуатации водного транспорта.

Установлено, что среди факторов, которые способны порождать рассматриваемый процесс, многие являются ненаблюдаемыми [4, 11]. Вследствие этого при его долгосрочном прогнозировании применяются статистические методы.

Необходимым условием адекватности получаемых прогнозов изменений ледовитости каких-либо районов Арктики является учет для их разработки факторов, которые при соответствующих сдвигах по времени связаны с ними статистически значимо и устойчиво [2]. Поэтому существенный теоретический и практический интерес представляет выявление ее районов, для которых связи межгодовых изменений их ледовитости с теми или иными факторами, обладают указанными свойствами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Как было установлено в работах Н.Н. Зубова [10], Л.С. Берга [5], В.Ю. Визе [6], В.В. Шулейкина [17] и подтверждено результатами исследований многих современных отечественных и зарубежных ученых, одним из факторов, которые способны вызывать существенные изменения ледовитости акваторий Арктики, является атмосферная циркуляция [1, 3, 9, 18].

В [8] выдвинута и подтверждена гипотеза о том, что к числу важнейших циркуляционных факторов, которые способны значимо влиять на рассматриваемый процесс, относятся элементарные циркуляционные механизмы (далее ЭЦМ).

Подход к типизации макроциркуляционных процессов в атмосфере над Северным полушарием нашей планеты, предполагающий, что все их разнообразие может быть представлено как 41 ЭЦМ, которые относятся к 13 типам, разбитым на четыре группы, разработан Б.Л. Дзердзеевским, В.М. Курганской и З.М. Витвицкой [7].

В [18] показано, что вариации суммарной продолжительности действия в летние месяцы некоторых ЭЦМ способны значимо влиять на изменения ледовитости Арктики. Вместе с тем, расположения ее районов, где межгодовые изменения ледовитости устойчиво и значимо связаны с опережающими их по времени вариациями указанных характеристик, не выявлены. Последнее не позволяет учитывать информацию об этих вариациях при разработке долгосрочных прогнозов изменений ледовитости соответствующих районов Арктики, эффективность которых не всегда удовлетворяет потребностям практики.

Наибольший интерес представляет выявление подобных районов для случаев, когда рассматриваются изменения их ледовитости в августе и сентябре - месяцах, когда навигация в Арктике наиболее интенсивна.

С учётом сказанного целью данной работы является выявление устойчивых и значимых связей межгодовых изменений среднемесячных значений ледовитости акваторий различных районов Арктики в августе и сентябре с опережающими их по времени вариациями продолжительности действия некоторых ЭЦМ по классификации Б.Л. Дзердзеевского.

Для достижения указанной цели как фактический материал об изменениях ледовитости всех районов Арктики, расположенных к северу от параллели 67^{o}N, использованы временные ряды ее среднемесячных значений за период, начиная с января 1982 г., которые представлены в [20]. Информация о суммарной продолжительности действия в том или ином месяце различных ЭЦМ получена из Календаря последовательной смены ЭЦМ за 1899-2015 гг. [21], который до 1970 г. составлялся под руководством и при непосредственном участии Б.Л. Дзердзеевского сотрудниками циркуляционной группы Отдела климатологии Института географии АН СССР.

С 1971г. составление Календаря курировала В. М. Курганская, а с 1994 г. эта работа осуществляется Н.К. Кононовой, которая принимает в ней участие с 1957 г. В 2014 г. к составлению Календаря подключилась Т.Ю. Горбунова.

Методика исследования предполагает использование для выявления искомых связей корреляционного анализа, а также критерия Стьюдента [2]. Поскольку, как изменения ледовитости арктических акваторий, так и вариации продолжительности действия различных ЭЦМ, к нормальным и стационарным процессам не относятся, такой подход позволяет значимость изучаемых связей оценивать лишь приближенно. Для повышения адекватности подобных оценок и ослабления влияния нестационарности рассматриваемых процессов в каждом из них предварительно выделен и скомпенсирован линейный тренд.

Вследствие того, что для ощутимого изменения ледовитости акватории некоторого района необходимо, чтобы его ледовые поля либо переместились, либо разрушились/образовались, подобные отклики на вариации рассматриваемых характеристик атмосферной циркуляции могут возникать с запаздыванием. Поэтому связи между рассматриваемыми процессами изучались для случаев, когда межгодовые изменения ледовитости той или иной акватории запаздывают по отношению к вариациям суммарной продолжительности действия каких-либо ЭЦМ на время от 0 до 5 месяцев.

Выявление ЭЦМ, для которых межгодовые изменения суммарной продолжительности их действия в том или ином месяце устойчиво и значимо связаны с вариациями значений ледовитости каких-либо акваторий Арктики в августе либо сентябре, осуществлено в два этапа.

На первом этапе, используя Календарь последовательной смены ЭЦМ [21], мы определили виды тех процессов, для которых суммарная продолжительность их действия в апреле - сентябре за 1982-2015 гг. не равнялась нулю.

На втором этапе среди установленных ЭЦМ с применением метода прямого перебора выявлены те, для которых связь межгодовых изменений суммарной продолжительности их действия хотя бы для одного из указанных месяцев с вариациями в августе либо сентябре ледовитости хотя бы одного района Арктики размерами $1^{o}x1^{o}$ является значимой и устойчивой.

Связь между каким-либо изучаемым процессом и его фактором признается значимой, если значение коэффициента парной корреляции между соответствующими фрагментами их временных рядов по модулю превышает уровень 95% порога достоверной корреляции по критерию Стьюдента. Этот уровень определен с учетом числа степеней свободы данных фрагментов.

Как известно [14], статистическая связь между изучаемым процессом, а также неким его фактором считается надежной и может быть использована при его прогнозировании, если соответствующее значение коэффициента парной корреляции рассматриваемых фрагментов их временных рядов не менее, чем в 6-10 раз, превышает вероятное отклонение, обусловленное ограниченностью длины этих фрагментов.

Установлено, что указанными свойствами обладают фрагменты временных рядов изучаемых процессов, содержащие от 25 до 34 членов. Поэтому при выявлении статистической устойчивости изучаемых связей их значимость оценена для каждого фрагмента соответствующих временных рядов за период 1982-2015 гг., который имеет именно такую длину. Связь признается устойчивой, если ее значимость установлена для всех подобных фрагментов (общее количество которых равно 55). Следовательно, ошибка подобного вывода не превышает 1/55.

Границы областей, в пределах которых расположены выявленные районы, отображены на контурных картах различных секторов Арктики с использованием метода триангуляции Делоне [15]. При выделении рассматриваемых ее секторов использована схема ее районирования, которая предложена Б.Л. Дзердзеевским [8]. В соответствии с ней, в составе Арктики выделены сектора Атлантический ($60^{o}W$-$0^{o}W$), Европейский ($0^{o}E$-$60^{o}E$), Сибирский($60^{o}E$-$120^{o}E$), Дальневосточный($120^{o}E$-$170^{o}E$), Тихоокеанский ($170^{o}E$-$120^{o}W$) и Американский ($120^{o}W$-$60^{o}W$).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С использованием описанной методики выявлены ЭЦМ, для которых связи межгодовых изменений в апреле - августе соответствующих им значений суммарной продолжительности действия с вариациями среднемесячных значений ледовитости в августе и сентябре являются устойчивыми и значимыми хотя бы для одного района Арктики размерами 1^{o}x1^{o}.

Установлено, что к ним относятся ЭЦМ13л, 9а, 12а, 12бл и 12вл.

Районы Арктики, где межгодовые изменения их ледовитости в августе устойчиво и значимо связаны с вариациями суммарной продолжительности действия этих ЭЦМ, существуют при условии, что последние соответствуют месяцам май, июнь или июль.

Сводная информация о количестве выявленных районов (n) в различных секторах Арктики, где межгодовые изменения ледовитости их акваторий в августе значимо и устойчиво коррелированы с вариациями в мае, июне и июле суммарной продолжительности действия тех или иных ЭЦМ с соответствующими знаками корреляции (Z), приведена в таблице 1.

Из таблицы 1 следует, что суммарное количество районов Арктики, для которых связи межгодовых изменений среднемесячных значений их ледовитости в августе с вариациями суммарной продолжительности действия различных ЭЦМ являются устойчивыми и значимыми, составляет:

в мае (сдвиг 3 месяца) – 421;

в июне (сдвиг 2 месяца)- 992;

в июле (сдвиг 1 месяц) – 897.

Следовательно, влияние вариаций суммарной продолжительности действия рассматриваемых ЭЦМ на изменения ледовитости районов Арктики в августе является наиболее сильным, в июне и июле (при сдвигах между этими процессами 2 и 1 месяц).

Из таблицы 1 видно также, что районов, которым соответствуют устойчивые и значимые связи с ЭЦМ 13л (группа МЮ) в мае - 0, в июне -210, а в июле 107 (всего 317).

Для прочих выявленных ЭЦМ, которые относятся к группе МС, их в мае – 421, в июне – 782, в июле – 790. Это означает, что в период с 1982 по 2015 гг. расматриваемыми свойствами обладали статистические связи межгодовых изменений ледовитости районов Арктики с опережающими их на 1-3 месяца вариациями суммарной продолжительности действия ЭЦМ, которые относятся к группе МС.

Количество выявленных районов, которым соответствуют отрицательные значения коэффициента корреляции изменений их ледовитости с вариациями суммарной продолжительности действия различных ЭЦМ МС, в мае - 372, в июне - 481, в июле - 642. Количество таких районов, которым соответствуют положительные значения этого коэффициента, в мае - 49, в июне - 309, в июле - 154. Из сопоставления приведенных цифр видно, что, если суммарная продолжительность действия ЭЦМ МС в июне-июле и далее будет увеличиваться, следует ожидать, что ледовитость многих районов Арктики в августе будет снижаться.

Таблица 1. *Количество выявленных районов Арктики (n), где межгодовые изменения ледовитости их акваторий в августе значимо и устойчиво связаны с вариациями суммарной продолжительности действия в мае, июне и июле каких-либо ЭЦМ, а также соответствующие им знаки корреляции (Z).*

Май										
ЭЦМ	9а		13л		12а		12бл		12вл	
Сектор Арктики	n	Z	n	z	n	Z	N	Z	n	Z
Европейский	85	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Сибирский	0	0	0	0	86	-	0	0	0	0
Дальневосточный	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Тихоокеанский	0	0	0	0	0	0	91	-	0	0
Американский	30	-	0	0	0	0	28	+	0	0
Атлантический	31	-	0	0	21	+	0	0	49	-
Вся Арктика	146		0		107		119		49	
Июнь										
ЭЦМ	9а		13л		12а		12бл		12вл	
Сектор Арктики	n	Z	n	Z	n	Z	n	Z	N	Z
Европейский	0	0	0	0	46	+	47	+	0	0
Сибирский	52 49	- +	22	+	61	+	24 7	+ -	61	+
Дальневосточный	96	-	31	+	0	0	0	0	0	0
Тихоокеанский	318	-	98	+	0	0	0	0	0	0
Американский	0	0	42 8	+ -	0	0	0	0	13	+
Атлантический	8	+	9	+	0	0	0	0	0	0
Вся Арктика	523		210		107		78		74	
Июль										
ЭЦМ	9а		13 л		12а		12б л		12в л	
Сектор Арктики	N	Z	n	Z	n	Z	n	Z	N	Z
Европейский	14	-	13	+	0	0	0	0	8	+
Сибирский	52 13	- +	19	+	0	0	18	-	45	+
Дальневосточный	87	-	26	+	30	-	157	-	24	-
Тихоокеанский	104	-	13	+	0	0	238	-	0	0
Американский	0	0	17 19	+ -	0	0	0	0	0	0
Атлантический	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Вся Арктика	270		107		30		413		77	

Таблица 1 показывает, что наибольшее количество районов во всех секторах Арктики, для которых связи изменений их ледовитости в августе с вариациями

продолжительности действия в мае рассматриваемых процессов устойчивы и значимы, соответствует ЭЦМ 9а. На втором месте по этому показателю ЭЦМ 12бл, на третьем 12а. Больше всего районов, где связи рассматриваемых процессов устойчивы и значимы, расположено в Тихоокеанском секторе Арктики.

Суммарная площадь районов всех секторов Арктики, для которых значимыми и устойчивыми являются связи межгодовых изменений среднемесячных значений ледовитости их акваторий в августе с вариациями суммарной продолжительности действия некоторого ЭЦМ в июне, максимальна для ЭЦМ 9а (всего 523 района). Многие из этих районов относятся к Тихоокеанскому (318) и Дальневосточному (96) секторам.

Корреляция межгодовых изменений в августе ледовитости выявленных районов указанных секторов Арктики с вариациями в июне суммарной продолжительности действия ЭЦМ 9а отрицательна.

Второе место среди ЭЦМ по количеству районов Арктики, для которых связи межгодовых изменений среднемесячных значений ледовитости их акваторий в августе с вариациями суммарной продолжительности действия в июне являются значимыми и устойчивыми, занимает ЭЦМ 13л (подобных районов в сумме 210). Больше всего таких районов относится к Тихоокеанскому сектору (98). Во всех выявленных районах, кроме восьми, принадлежащих Американскому сектору, корреляция рассматриваемых процессов положительна.

Количество районов всей Арктики, для которых связи межгодовых изменений среднемесячных значений ледовитости их акваторий в августе с вариациями суммарной продолжительности действия ЭЦМ 12а в июне являются значимыми и устойчивыми, составляет 107. Большая их часть находится в Сибирском секторе (61 район), несколько меньше – в Европейском секторе (46 районов). Во всех районах корреляция рассматриваемых процессов положительна.

Для ЭЦМ 12бл и 12вл суммарное количество выявленных районов Арктики, для которых связь межгодовых изменений их ледовитости в августе с вариациями соответствующих значений суммарной продолжительности действия в июне обладает рассматриваемыми свойствами, минимально и составляет соответственно 78 и 74.

Общая площадь районов Арктики, для которых значимыми и устойчивыми являются связи рассматриваемого процесса в августе с вариациями суммарной продолжительности действия в июле каких либо ЭЦМ, максимальна для ЭЦМ 12бл (408районов, где корреляция рассматриваемых процессов отрицательна).

На втором месте по этому показателю – ЭЦМ 9а, для которого выявлено 246 таких районов. Во всех секторах Арктики, кроме Сибирского, корреляция рассматриваемых процессов отрицательна. В Сибирском секторе имеются области, локализующие районы как отрицательной (Карское море), так и положительной корреляции (море Лаптевых).

На третьем месте – ЭЦМ 13л, которому соответствуют 88 рассматриваемых районов, где корреляция изучаемых процессов положительна.

Суммарное количество арктических районов, где значимыми и устойчивыми являются связи межгодовых изменений среднемесячных значений ледовитости их акваторий в августе с вариациями суммарной продолжительности действия всех ЭЦМ в

июле, максимально для Тихоокеанского сектора (355 районов) и Дальневосточного сектора (324 района). Отсутствуют такие районы в Атлантическом секторе и почти отсутствуют в Американском.

Районов Арктики, в которых на их ледовитость в августе влияли бы вариации суммарной продолжительности действия каких-либо ЭЦМ в апреле (опережение 4 месяца), или августе (опережение рано нулю), не выявлено.

Во многом аналогичные особенности присущи связям рассматриваемых факторов и с межгодовыми изменениями ледовитости арктических акваторий в сентябре.

Районы Арктики, где межгодовые изменения сентябрьских значений их ледовитости устойчиво и значимо связаны с вариациями суммарной продолжительности действия рассматриваемых ЭЦМ, выявлены лишь для мая, июня, июля и августа.

Сведения о количестве выявленных в различных секторах Арктики районов (n), где межгодовые изменения ледовитости их акваторий в сентябре значимо и устойчиво коррелированы с вариациями в мае, июне, июле и августе суммарной продолжительности действия тех или иных ЭЦМ с соответствующими знаками корреляции (Z), приведены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что суммарное количество районов Арктики, для которых связи межгодовых изменений среднемесячных значений их ледовитости в сентябре с вариациями суммарной продолжительности действия различных ЭЦМ являются устойчивыми и значимыми, составляет:

в мае (сдвиг 4 месяца) – 531;

в июне (сдвиг 3 месяца)- 1212;

в июле (сдвиг 2 месяца) – 1382.

В августе (сдвиг 1 месяц) –776

Следовательно, наибольшее влияние на изменения ледовитости районов Арктики в сентябре, как и в августе, оказывают вариации суммарной продолжительности действия рассматриваемых ЭЦМ в июне и в июле. При этом влияние в сентябре сильнее, чем в августе.

Из таблицы 2 видно также, что районов, которым соответствуют связи с ЭЦМ 13л (группа МЮ) в мае - 292, в июне -123, в июле 367 , в августе 469 (всего 1251).

Для прочих выявленных ЭЦМ, которые относятся к группе МС, их в мае – 238, в июне – 1089, в июле – 1015, в августе – 307. Это означает, что в период с 1982 по 2015 гг. на межгодовые изменения ледовитости районов Арктики в сентябре (как и в августе), наиболее сильным было влияние вариаций суммарной продолжительности действия в июне и июле ЭЦМ, которые относятся к группе МС. Преобладающее влияние на ледовитость в сентябре оказывают вариации суммарной продолжительности действия ЭЦМ группы МЮ только в мае и августе.

Количество выявленных районов Арктики, которым соответствуют отрицательные значения коэффициента корреляции изменений их ледовитости в сентябре с вариациями суммарной продолжительности действия различных ЭЦМ МС составляет: в мае- 284, в июне - 786, в июле – 975, в августе - 541.

Таблица 2. *Количество выявленных районов Арктики (n), где межгодовые изменения ледовитости их акваторий в сентябре значимо и устойчиво связаны с вариациями суммарной продолжительности действия в мае, июне и июле каких-либо ЭЦМ, а также соответствующие им знаки корреляции (Z).*

Май										
ЭЦМ	9а		13л		12а		12бл		12вл	
Сектор Арктики	N	Z	n	z	n	Z	N	Z	N	Z
Европейский	24 12	- +	19	-	0	0	0	0	0	0
Сибирский	1	+	4	+	2	-	24 18	- +	0	0
Дальневосточный	0	0	1	+	0	0	11 2	- +	5	+
Тихоокеанский	15	+	7	+	0	0	49	-	0	0
Американский	2	-	128 4	- +	4	+	16 5	- +	0	0
Атлантический	19 4	- +	120 9	- +	16	+	9	-	1	+
Вся Арктика	77		292		22		134		6	
Июнь										
ЭЦМ	9а		13л		12а		12бл		12вл	
Сектор Арктики	N	Z	n	Z	n	Z	n	Z	N	Z
Европейский	6 1	- +	5 12	- +	0	0	20	+	70	+
Сибирский	43 13	- +	18	+	7	+	3	+	71	+
Дальневосточный	265	-	65	+	0	0	2	+	16	+
Тихоокеанский	420	-	20	+	0	0	3	+	0	0
Американский	47	-	3	+	8	+	1	+	8	+
Атлантический	2	+	0	0	0	0	0	0	83	+
Вся Арктика	797		123		15		29		248	
Июль										
ЭЦМ	9а		13л		12а		12бл		12вл	
Сектор Арктики	N	Z	n	Z	n	Z	n	Z	N	Z
Европейский	4	+	170	-	2	+	45 3	+ -	23	+
Сибирский	0	0	65 16	- +	8	-	7 9	+ -	65	+
Дальневосточный	134	-	50 34	- +	44	-	277	-	22	-
Тихоокеанский	83	-	27	-	0	0	210	-	10	-
Американский	3	-	0	0	3	+	8	-	19 9	+ -
Атлантический	5	+	5	-	7	+	15	+	0	0
Вся Арктика	229		367		64		574		148	

Таблица 2. *(Продолжение)*

Август										
ЭЦМ	9а		13л		12а		12бл		12вл	
Сектор Арктики	N	Z	n	Z	n	Z	n	Z	N	Z
Европейский	4	+	157	-	9	+	2	+	48	+
Сибирский	1	+	30	-	0	0	7	+	55 9	+ -
Дальневосточный	0	0	15 12	- +	0	0	24	-	7	+
Тихоокеанский	34	-	103 32	- +	0	0	0	0	10	+
Американский	0	0	102	-	1	-	6	+	35 46	+ -
Атлантический	2	+	15 3	- +	0	0	2	-	2 3	+ -
Вся Арктика	41		469		10		41		215	

Количество ее районов, которым соответствуют положительные значения этого коэффициента, в мае -108, в июне - 426, в июле – 245, в августе - 235.

Данный результат свидетельствует о том, что тенденции изменения суммарной продолжительности действия рассматриваемых ЭЦМ группы МС в июне-июле во многом определяют тенденции вариаций ледовитости выявленных районов Арктики не только в августе, но и в сентябре. При возрастании июньских и июльских значений указанного показателя ЭЦМ значения ледовитости подобных ее районов уменьшается.

Из таблицы 2 видно, что суммарная площадь районов всех секторов Арктики, для которых значимыми и устойчивыми являются связи межгодовых изменений среднемесячных значений их ледовитости в сентябре с вариациями суммарной продолжительности действия в июне, максимальна для ЭЦМ 9а. Большинство из этих районов относится к Тихоокеанскому (420) и Дальневосточному (265) секторам.

Корреляция межгодовых изменений в сентябре, как и в августе, ледовитости выявленных районов упомянутых секторов Арктики, с вариациями в июне суммарной продолжительности действия ЭЦМ 9а отрицательна.

Второе место среди ЭЦМ по количеству районов Арктики, для которых связи межгодовых изменений среднемесячных значений ледовитости их акваторий в августе с вариациями суммарной продолжительности действия в июне являются значимыми и устойчивыми, занимает ЭЦМ 12вл (подобных районов в сумме 248). Больше всего таких районов относится к Атлантическому, Европейскому и Сибирскому секторам. Во всех выявленных районах этих секторов корреляция рассматриваемых процессов положительна.

Количество районов всей Арктики, для которых связи межгодовых изменений среднемесячных значений ледовитости их акваторий в сентябре с вариациями суммарной продолжительности действия ЭЦМ 13л в июне являются значимыми и устойчивыми, составляет 123. Большая их часть находится в Дальневосточном и Тихоокеанском секторе. В них корреляция рассматриваемых процессов положительна.

Для ЭЦМ 12бл и 12а суммарное количество районов Арктики, для которых выявлена связь межгодовых изменений их ледовитости в сентябре с вариациями соответствующих значений суммарной продолжительности действия в июне, минимально.

Общая площадь районов Арктики, для которых значимыми и устойчивыми являются связи рассматриваемого процесса в сентябре с вариациями суммарной продолжительности действия в июле каких либо ЭЦМ, максимальна для ЭЦМ 12бл. Большинство подобных районов находится в Дальневосточном и Тихоокеанском секторе.

На втором месте по этому показателю – ЭЦМ 13л, для которого наибольшее количество таких районов расположено в Европейском секторе (в них корреляция рассматриваемых процессов отрицательна). На третьем месте – ЭЦМ 9а, которому соответствуют районы Дальневосточного и Тихоокеанского секторов, где корреляция изучаемых процессов отрицательна.

Суммарное количество арктических районов, где значимыми и устойчивыми являются связи межгодовых изменений среднемесячных значений ледовитости их акваторий в сентябре с вариациями суммарной продолжительности действия всех ЭЦМ в июле, как и в августе, максимально для Тихоокеанского и Дальневосточного секторов.

Районов Арктики, в которых на их ледовитость в сентябре влияли бы вариации суммарной продолжительности действия каких-либо ЭЦМ в апреле (опережение 5 месяцев), или сентябре (опережение рано нулю), не выявлено.

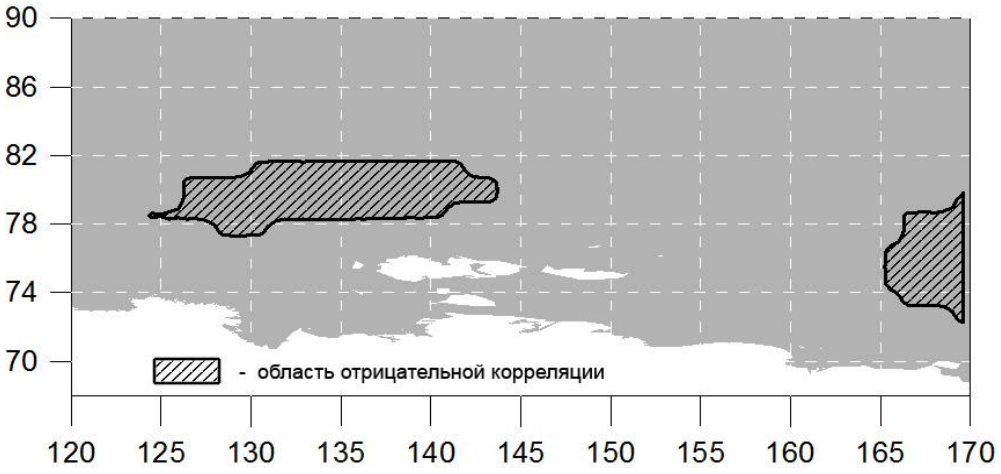
Как следует из изложенного, районы Арктики, где межгодовые изменения ледовитости в августе и сентябре устойчиво и значимо связаны с вариациями продолжительности действия ЭЦМ 9а и 12бл, в основном находятся в ее Тихоокеанском и Дальневосточном секторах.

На рисунке 1 представлены районы этих секторов, в которых межгодовые изменения их ледовитости в августе значимо и устойчиво связаны с вариациями продолжительности действия ЭЦМ 9а в июне.

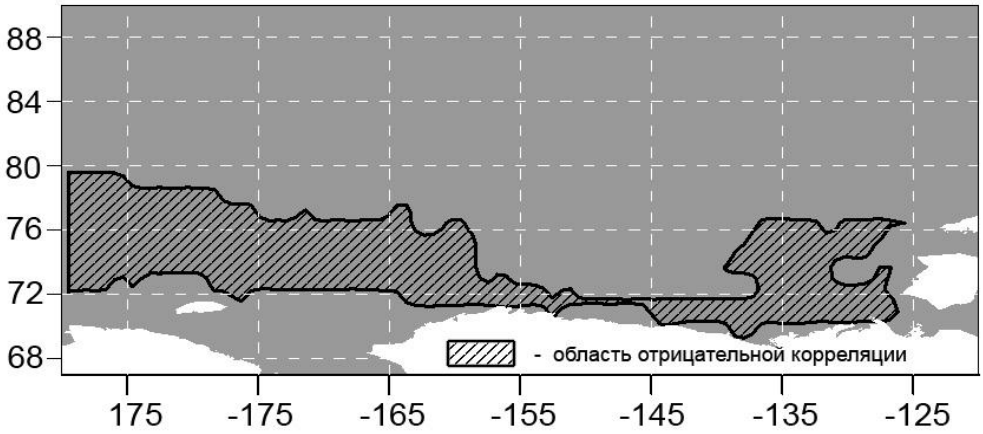
Из рисунка 1А следует, что в Дальневосточном секторе выявленные районы находятся в зоне Арктического бассейна, прилегающей к восточной части моря Лаптевых, а также на востоке Восточно Сибирского моря.

Рисунок 1Б показывает, что в Тихоокеанском секторе подобные районы сосредоточены в двух областях, которые, смыкаясь, образуют единую зону. Первая включает северные районы восточной части Восточно-Сибирского и Чукотского моря, а также прилегающие к ним акватории Арктического бассейна. Вторая область расположена в море Бофорта. В южных районах Чукотского и Восточносибирского морей, включая область Берингова пролива, значимых и устойчивых связей между рассматриваемыми процессами не выявлено. В область, находящуюся в море Бофорта, входят и многие его южные прибрежные районы.

На рисунке 2 отображены расположения районов Дальневосточного и Тихоокеанского секторов Арктики, где межгодовые изменения их ледовитости в августе значимо и устойчиво связаны с вариациями продолжительности действия ЭЦМ 12бл в июле.



А)



Б)

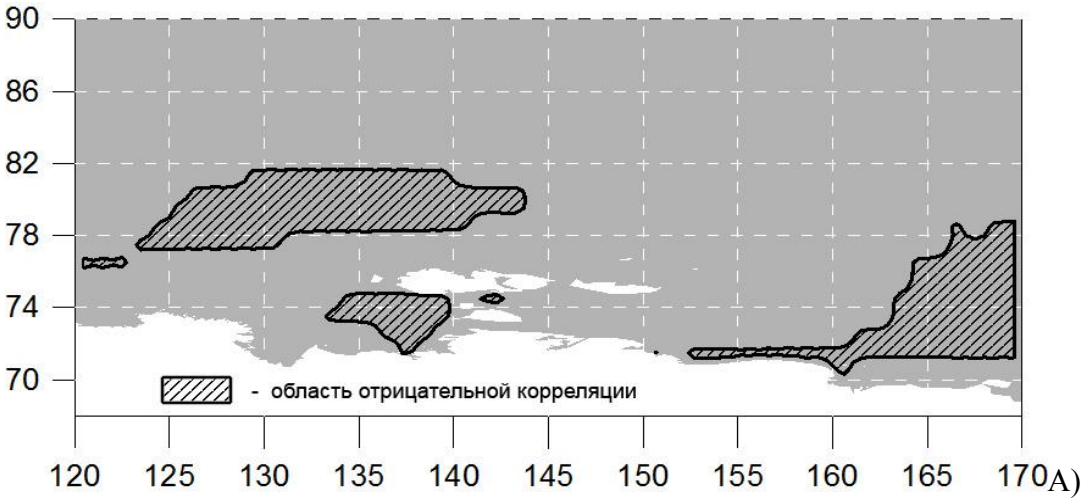
Рис. 1. *Районы Арктики, где межгодовые изменения их ледовитости в августе значимо и устойчиво связаны с вариациями продолжительности действия ЭЦМ 9а в июне. А) Дальневосточный сектор; Б) Тихоокеанский сектор.*

Рисунок 2А показывает, что в Дальневосточном секторе Арктики выявленные районы находятся и в Арктическом бассейне, и в море Лаптевых, и в Восточно-Сибирском море. При этом выявленный район моря Лаптева расположен в его восточной части, вблизи проливов Дмитрия Лаптева и Санникова.

Из рисунка 2Б видно, что в Тихоокеанском секторе подобные районы образуют зону, которая включает северные части Восточно-Сибирского и Чукотского моря. В ее составе присутствуют районы, расположенные как непосредственно в проливе Лонга, так и у северных побережий острова Врангеля, через которые проходят соответствующие маршруты трассы Северного морского пути. Небольшая область, содержащая выявленные районы, присутствует также в море Бофорта.

В южных районах данного сектора рассматриваемых районов не выявлено.

Поскольку через некоторые из выявленных районов проходят соответствующие участки трассы Северного морского пути, изучение возможностей повышения эффективности долгосрочных прогнозов изменений их ледовитости в результате учета при их разработке выявленных связей представляют не только теоретический, но и практический интерес.



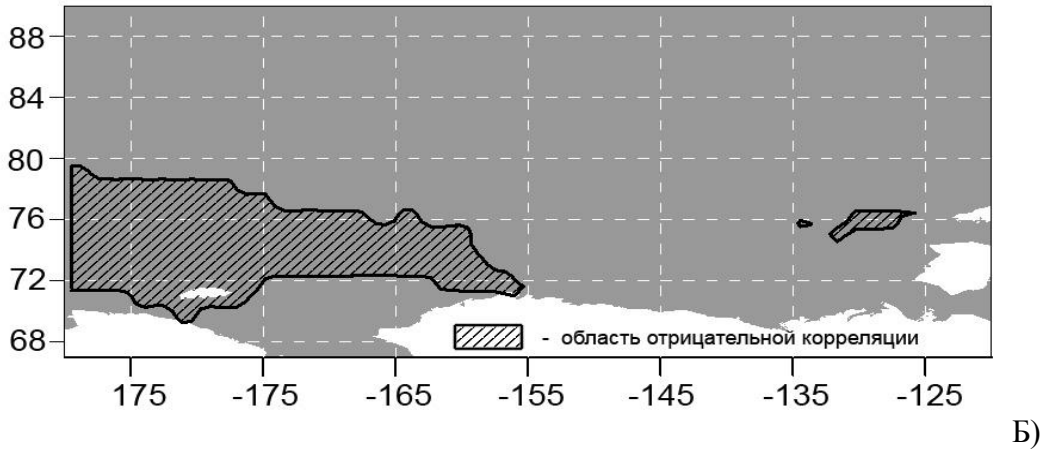


Рис. 2. *Районы Арктики, где межгодовые изменения их ледовитости в августе значимо и устойчиво связаны с вариациями продолжительности действия ЭЦМ 12бл в июле. А) Дальневосточный сектор; Б) Тихоокеанский сектор.*

На рисунке 3 показаны районы тех же секторов Арктики, в которых межгодовые изменения их ледовитости в сентябре значимо и устойчиво связаны с вариациями продолжительности действия ЭЦМ 9а в июне.

Из рисунка 3А следует, что в Дальневосточном секторе выявленные районы образуют сплошную зону, простирающуюся через море Лаптевых и Восточносибирское море. Корреляция изменений их ледовитости в сентябре с вариациями суммарной продолжительности действия ЭЦМ 9а в июне отрицательна. Из сравнения рисунка 3А с рисунком 1А видно, что суммарная площадь выявленных районов данного сектора для сентября заметно больше, чем для августа.

Рисунок 3Б показывает, что в Тихоокеанском секторе подобные районы образуют две области, которые расположены зонально. К первой области относятся северные районы восточной части Восточносибирского и Чукотского морей, а также прилегающей к их северным границам части Арктического бассейна. Ко второй относятся районы восточной части моря Бофорта. Для южных районов данного сектора значимых связей межгодовых изменений их ледовитости в сентябре с вариациями суммарной продолжительности действия данного ЭЦМ не выявлено.

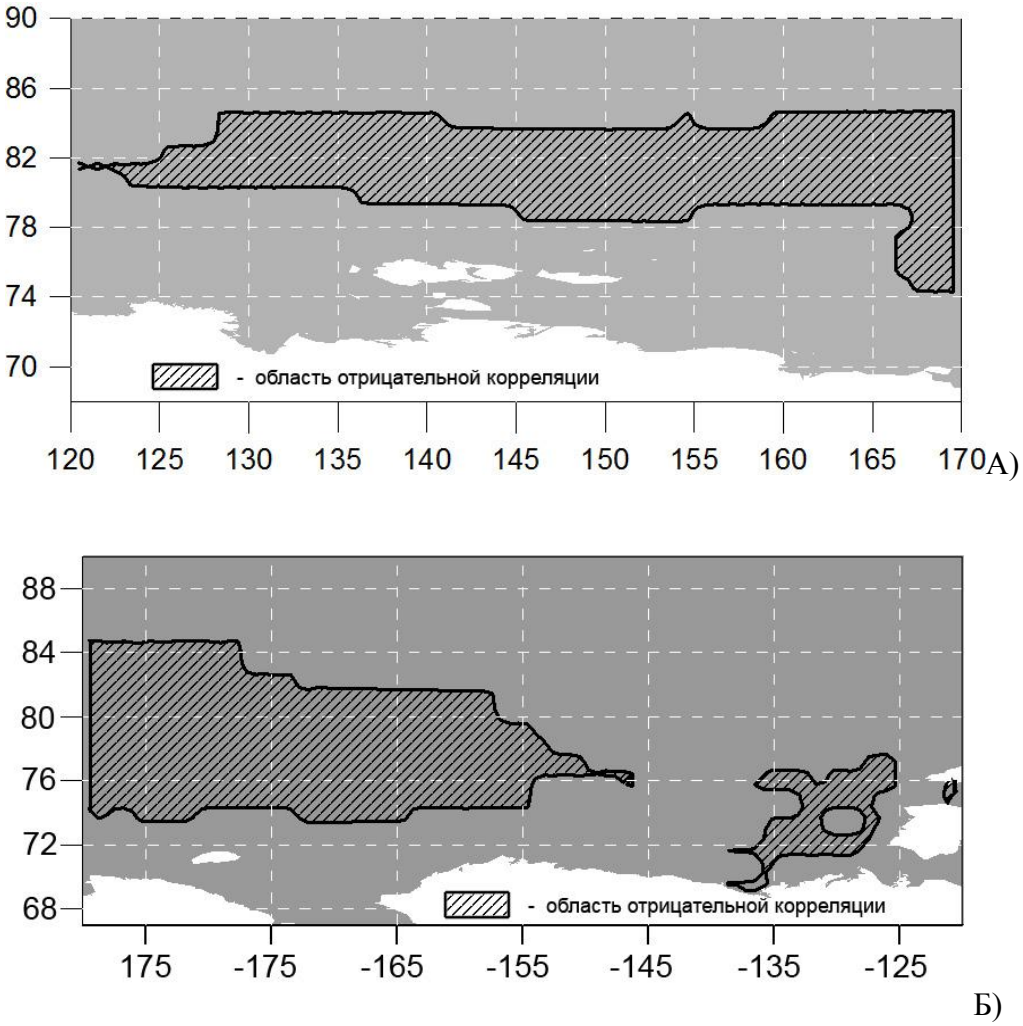
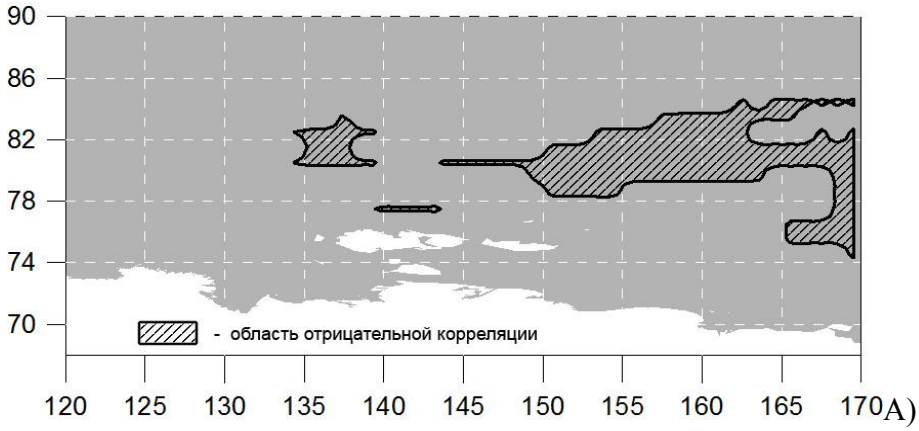


Рис. 3. *Районы секторов Арктики, где межгодовые изменения их ледовитости в сентябре значимо и устойчиво связаны с вариациями продолжительности действия ЭЦМ 9а в июне. А) Дальневосточный; Б) Тихоокеанский.*

Расположения районов Дальневосточного и Тихоокеанского секторов Арктики, где межгодовые изменения их ледовитости в августе значимо и устойчиво связаны с вариациями продолжительности действия ЭЦМ 9а в июле, приведены на рисунке 4.

Рисунок 4А свидетельствует о том, что районы Дальневосточного сектора, в которых межгодовые изменения их ледовитости в сентябре значимо и устойчиво связаны с вариациями продолжительности действия ЭЦМ 9а в июле, преобладают в восточной части соответствующего сектора Арктического бассейна. Большинство из них расположено существенно севернее участка трассы Северного морского пути, который приходится на море Лаптевых и Восточносибирское море. Суммарная площадь отображенных на рисунке 4А районов значимого влияния ЭЦМ 9а в июле заметно меньше, чем для аналогичных районов, соответствующих июню, показанных на рисунке 3А.

Рисунок 4Б показывает, что в Тихоокеанском секторе Арктики районы, где те же процессы устойчиво и значимо связаны между собой, расположены лишь на севере восточной части Восточносибирского моря и в прилегающей к ней области Арктического бассейна.



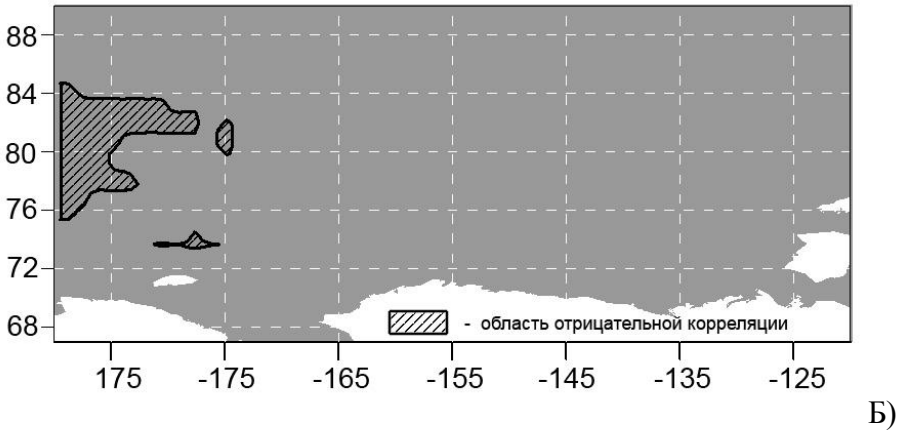
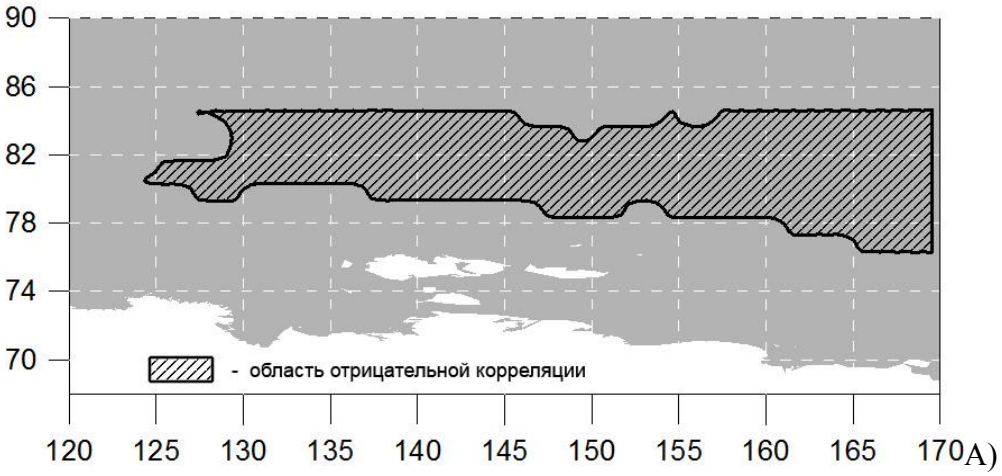


Рис. 4. *Районы секторов Арктики, где межгодовые изменения их ледовитости в сентябре значимо и устойчиво связаны с вариациями продолжительности действия ЭЦМ 9а в июле. А) Дальневосточный; Б) Тихоокеанский.*

Расположения районов изучаемых секторов Арктики, в которых межгодовые изменения их ледовитости в сентябре значимо и устойчиво связаны с вариациями продолжительности действия ЭЦМ 12бл в июле, приведены на рисунке 5.

Рисунок 5А показывает, что в Дальневосточном секторе Арктики районы, где межгодовые изменения их ледовитости в сентябре значимо и устойчиво связаны с вариациями продолжительности действия ЭЦМ 12бл в июле, расположены в Арктическом бассейне, где образуют практически сплошную зону, простирающуюся вдоль северных границ моря Лаптевых и Восточносибирского моря. Из сравнения данного рисунка с рисунком 2А следует, что влияние рассматриваемого фактора на межгодовые изменения в сентябре ледовитости районов этого сектора значительно сильнее. Нетрудно видеть, что районы данного сектора, для которых оно существенно, расположены севернее.

Из рисунка 5Б видно, что изучаемые районы Тихоокеанского сектора образуют единую область. В нее входят северные районы восточной части Восточносибирского и западной части Чукотского морей, а также области Арктического бассейна, простирающиеся вдоль их границ. Из сравнения рисунков 5Б и 2Б нетрудно заметить, что районы, на межгодовые изменения ледовитости которых в сентябре существенно влияет тот же фактор, находятся заметно севернее.



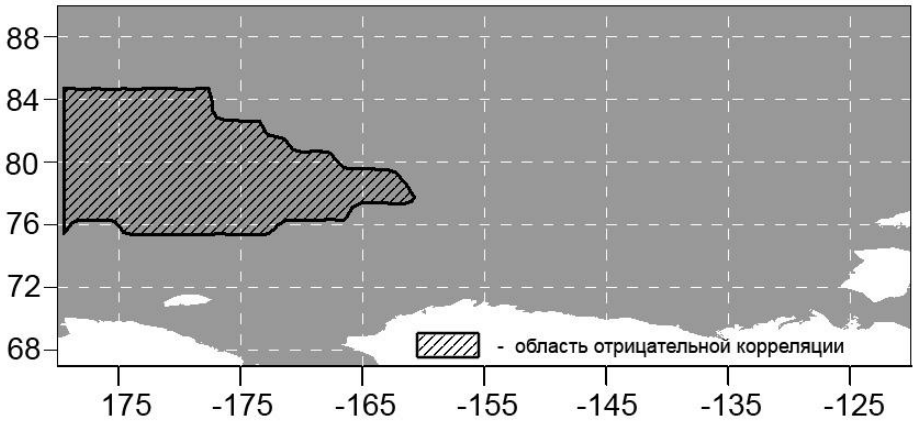


Рис. 5. *Районы Арктики, где межгодовые изменения их ледовитости в сентябре значимо и устойчиво связаны с вариациями продолжительности действия ЭЦМ 12бл в июле. А) Дальневосточный; Б) Тихоокеанский.*

Сопоставление рисунков 1-5 свидетельствует о том, что районы Дальневосточного и Тихоокеанского секторов, где межгодовые изменения их ледовитости в августе и сентябре устойчиво и значимо связаны с вариациями июньской и июльской продолжительности действия ЭЦМ 9а и 12бл, расположены в них зонально. От расположенных в тех же секторах участков побережий материков южные границы выявленных районов отделены обширными акваториями, на ледовитость которых данные факторы не влияют. Практически не сказывается их влияние и на ледовитости входящих в те же сектора приполярных районов Арктического бассейна.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты соответствуют современным представлениям об особенностях атмосферной циркуляции в периоды действия ЭЦМ 13л, 9а, 12а, 12бл и 12вл, а также их влиянии на изменения ледовитости акваторий Арктики [7, 8, 12, 13]. Эти представления сформировались в результате исследований, осуществленных Б.Л. Дзердзеевским и учеными созданной им научной школы.

В соответствии с данными представлениями, особенности изменений в период с 1899 по 2015 г. суммарной годовой продолжительности ЭЦМ, которые относятся к группам З+НЗ, МС и МЮ, свидетельствуют о том, что за это время сменились три циркуляционные эпохи. Последняя, в течение которой преобладают ЭЦМ группы МЮ, началась в 1957 году и продолжается до сих пор. В ней с учётом особенности изменений тех же показателей могут быть выделены четыре периода, два из которых приходятся на рассматриваемый период 1982-2015 гг.[12].

Для периода 1981-1997 гг. характерен быстрый рост продолжительности действия ЭЦМ МЮ и сокращение ЭЦМ МС и З+НЗ. В последовавший за ним период 1998-2015 гг. происходит спад продолжительности действия ЭЦМ, которые относятся к группам МЮ и З+НЗ, и увеличение продолжительности ЭЦМ, принадлежащих группе МС [13].

С 2006 г. положительные отклонения продолжительности действия ЭЦМ, относящихся к группе МС, уже больше, чем ЭЦМ группы МЮ. Возможно, именно поэтому наиболее существенное влияние на межгодовые изменения ледовитости выявленных районов Арктики оказывают изменения продолжительности действия ЭЦМ группы МС. Если подобная тенденция в будущем не изменится, можно будет говорить о наступлении новой циркуляционной эпохи, меридиональной северной.

Сопоставление происходивших в XX веке смен циркуляционных эпох и тенденций изменения ледовитости Арктики [12] свидетельствует о наличии между ними связи, которая может быть не только статистической, но и причинной.

Так, например, известно, что в 20-40-е годы XX века ледовитость Арктики уменьшалась [3]. В тот же период отмечался рост продолжительности периодов действия ЭЦМ группы З+НЗ и смещение траекторий циклонов к северу [5]. Последнее не только вызывало потепление на путях их распространения, но и приводило к снижению атмосферного давления над арктическими морями, а также ослаблению в летние месяцы северных ветров, которые нагоняют дрейфующие льды к их побережьям [3].

В 50-х годах началось увеличение ледовитости Арктики, которое по времени совпало с периодом роста продолжительности блокирующих процессов.

В начале рассматриваемого периода (1981-1997 гг.) ледовитость Арктики интенсивно уменьшалась. В это же время возрастала продолжительность действия ЭЦМ МЮ. В те годы над полюсом все чаще располагалась область низкого давления, а также происходили выходы южных циклонов (из Атлантики, Средиземного моря и Тихого океана зимой и плюс через Американский континент летом).

В период после 1998 г. темпы снижения ледовитости Арктики существенно снизились [3, 13], а характер циркуляции атмосферы вновь изменился. Над Арктическим бассейном все чаще располагается антициклон, а также развиваются арктические блокирующие процессы. Тем не менее, в связи с преобладанием антициклонов на континентах, циклоны, как и в 30-е годы, обходят их с севера.

Данные факты указывают на то, что к числу существенных причин изменений ледовитости выявленных арктических акваторий могут относиться перемены суммарной продолжительности действия выявленных ЭЦМ.

Перечень этих ЭЦМ вполне закономерен. Установлено [8], что ЭЦМ 13л, 9а, 12а, 12бл и 12вл относятся к числу процессов, которые действуют в основном на протяжении теплого полугодия, а средняя продолжительность их действия в современную эпоху заметно больше, чем за весь период их регистрации. В последнем нетрудно убедиться, рассмотрев построенную с учетом данных [19] таблицу 3, где сопоставлены указанные показатели для всех выявленных ЭЦМ.

Таблица 3. *Годовая продолжительность действия ЭЦМ в среднем по периодам.*

ЭЦМ	Средняя за 1899-2015	Средняя за 1981-1997	Средняя за 1998-2015
13л	25,6	67	52
12а	21	54	54
9а	12,6	17	23
12бл	9	6	14
12вл	6	4	6
Сумма	74,2	148	149

Из таблицы 3 следует, что среднее значение суммарной продолжительности действия данных ЭЦМ, которое оценено за период с 1981г. по 2015 г., превышает 82% от общей продолжительности теплого полугодия и в 2 раза превосходит соответствующее среднее значение, рассчитанное для всего периода их изучения (1899-2015 гг.).

Суммарная годовая продолжительность действия выявленных ЭЦМ приведена на рисунке 6.

Как видно из рисунка 6А, суммарная годовая продолжительность действия ЭЦМ 13л на интервале времени с 1981 по1997 гг. возрастала, а в последующий период снижается. Максимум был достигнут в 1989 г. (118 суток), после чего началось снижение, вначале медленное, а после 1997 г. быстрое. Последнее позволяет предположить, что в XXI веке влияние данного ЭЦМ на многие физико-географические процессы, в том числе изменения ледовитости Арктики, ослабевает.

Из рисунка 6Б следует, что изменениям рассматриваемой характеристики для ЭЦМ 9а на интервале времени с 1982 по 2015 гг. свойственна тенденция возрастания. Ее среднее значение на данном интервале существенно больше, чем за весь отрезок времени 1899-2015 гг. Максимум суммарной годовой продолжительности действия ЭЦМ 9а - 40 дней в году - достигнут в 2006 г. В предшествующий период (длиной более, чем 90 лет) суммарная годовая продолжительность ЭЦМ 9а колебалась около средней. Из этого следует, что вполне обоснованным является предположение, согласно которому значимость влияния рассматриваемого ЭЦМ на изменения ледовитости Арктики за данный период могла возрастать.

Рисунок 6В дает все основания делать аналогичное предположение также в отношении ЭЦМ 12а. Суммарная годовая продолжительность этого ЭЦМ в первой половине XX века была преимущественно ниже средней. Выше средней она поднялась

в период 1960-1976 гг. Второй период роста рассматриваемого показателя данного ЭЦМ начался в 1993 г. и продолжается до сих пор. Максимум (106 дней) достигнут в 2012 г.

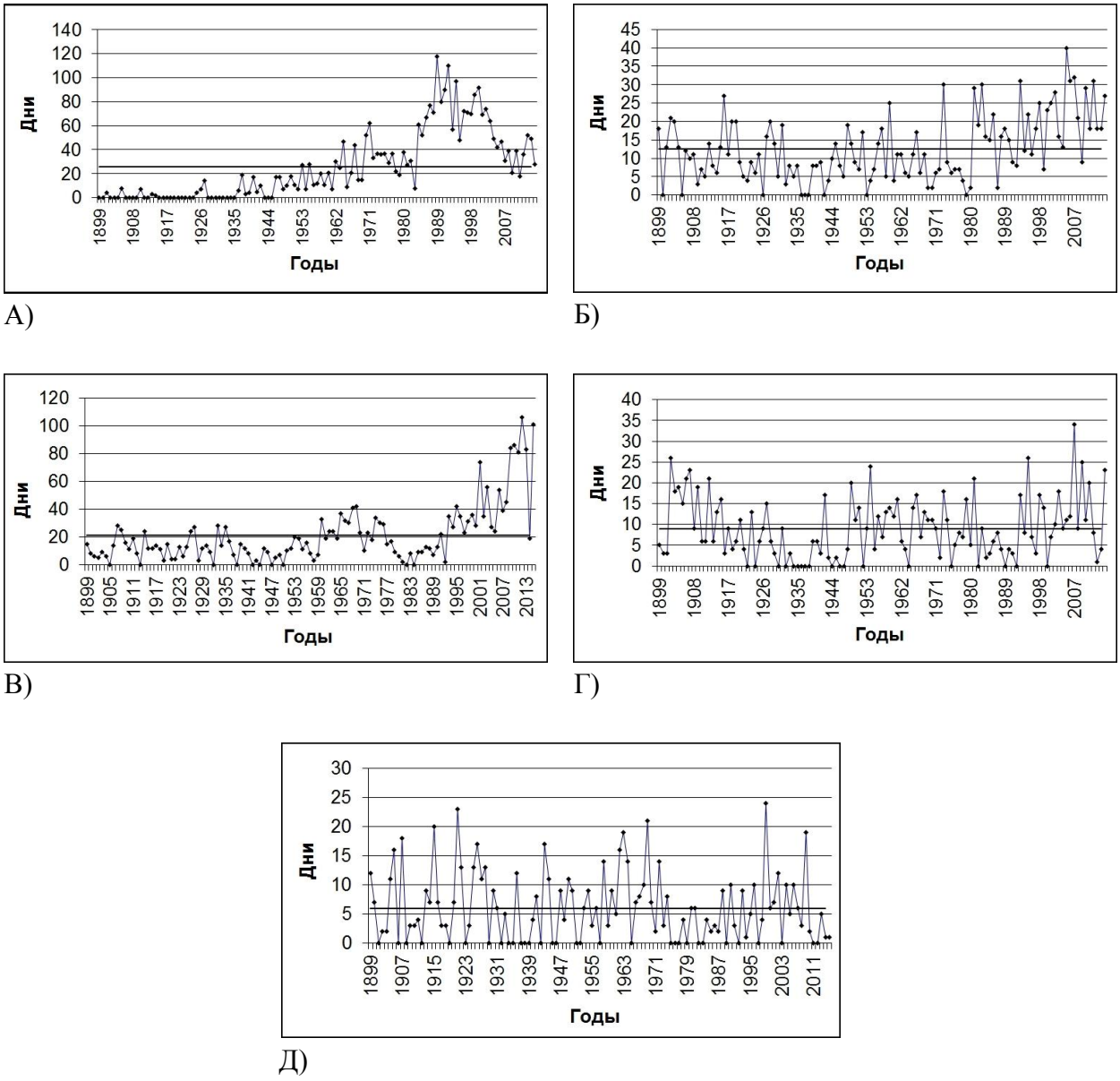


Рис. 6. *Изменения суммарной годовой продолжительности действия ЭЦМ: А)-13л; Б)-9а; В) -12а; Г) – 12бл; Д) – 12вл*

В отличие от ЭЦМ 13л и 9а, которые преобладают с апреля по сентябрь (с максимумом в июле), ЭЦМ 12а встречается в небольших количествах круглый год, но максимум его среднемесячной продолжительности (около 4 дней) приходится на апрель-май[12].

Суммарная годовая продолжительность действия ЭЦМ 12бл была устойчиво выше средней лишь в начале XX века. Затем она постепенно убывала, и в 1934-1938 гг. периодов действия ЭЦМ 12бл не наблюдалось. С 1939 по 1981 г. продолжительность

действия данного ЭЦМ колебалась около средней, а с 1982 по 1992, в период быстрого роста меридиональных южных процессов, была устойчиво ниже средней [12].

Из рисунка 6Г видно, что для ЭЦМ12бл устойчивый рост продолжительности начался с 1998 г. Его максимум (34 дня за год) достигнут в 2007 г., а среднее значение на отрезке времени 1982-2015 гг. превышает аналогичный показатель за интервал: 1899-2015 г.

Рисунок 6Д показывает, что за период 1982-2015 гг. изменениям суммарной продолжительности действия ЭЦМ 12вл была свойственна тенденция к их уменьшению. Тем не менее, максимум значений данной характеристики (24 дня в году) отмечался в 1999 г., а ее среднее значение, оцененное на том же отрезке времени, близко к аналогичному показателю за интервал 1899-2015 г. Последнее позволяет допускать, что и ЭЦМ 12вл был способен влиять в 1982-2015 гг. на изменения ледовитости Арктики.

Значения суммарной продолжительности действия ЭЦМ 9а, 13л, 12а, 12бл и 12вл, вычисленные по данным [19] за весь период наблюдений (1899-2015 гг.), за весь рассматриваемый в данной работе период (1982-2015 гг.), а также за последние годы (1998-2015гг) для месяцев теплого полугодия, приведены в таблице 4.

Таблица 4. *Суммарная продолжительность действия в месяцы теплого полугодия некоторых ЭЦМ в среднем по периодам.*

ЭЦМ	Средняя за 1899-2015 гг.				
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
13л	2,26	5,04	5,64	5,57	3,68
12а	3,7	1,56	0,86	1,23	2,03
9а	1,98	2,43	2,34	1,49	0,9
12бл	2,34	1,71	0,86	0,43	0,86
12вл	1,43	0,91	0,62	0,62	0,92
Сумма	11,71	11,65	10,32	9,34	8,39
ЭЦМ	Средняя за 1981-1997 гг.				
13л	6,71	11,5	14,1	14,2	9,88
12а	3,41	1,05	0,24	0	0,82
9а	2,71	2	2,1	1,65	1,29
12бл	1,35	1	0,63	0,5	0
12вл	1,12	0,29	0,82	0	1,12
Сумма	15,3	15,84	17,86	16,35	13,11
ЭЦМ	Средняя за 1998-2015 гг.				
13л	5	10,7	11	9,33	6,44
12а	7,5	3,39	2,5	2,5	6,11
9а	4,44	4,83	4,28	3,2	1,39
12бл	2,94	1,72	1,17	3	1,5
12вл	2,39	0,5	0,72	1	0,72
Сумма	22,27	20,94	19,59	19,03	16,16

Из таблицы 4 видно, что в среднем максимум продолжительности действия ЭЦМ 13л отмечается в июле (5,64 дня). Между июлем и августом различие незначительно (5,57 дня). В период 1981-1997 гг. продолжительность его действия во все месяцы тёплого периода возрастает более, чем вдвое, особенно в июле (14,1 дня) и в августе (14,2 дня), при этом максимум смещается на август. В период 1998-2015 гг. среднемесячная продолжительность действия данного ЭЦМ снижается на 1-5 дней, максимум возвращается к июлю (11 дней), за ним следует июнь (10, 7 дня). Среднемесячная продолжительность его действия остаётся в1,5 - 2 раза выше средней.

Наибольшая средняя продолжительность действия ЭЦМ 12а приходится на май (в среднем 3,7 дня) и на сентябрь (2,03 дня). В период 1981-1997 гг. она уменьшилась, а в период 1998-2015 гг. возросла в мае вдвое (7,5 дня), а в сентябре втрое (6,11 дня). Летние значения выросли ещё более значительно.

Максимальная средняя продолжительность действия ЭЦМ 9а отмечена в июне. В период 1981-1997 гг. она немного выросла только в августе и сентябре, зато в 1998-2015 гг. выросла во все месяцы более, чем вдвое.

Наибольшая средняя продолжительность действия ЭЦМ 12бл приходится на май. В период 1981-1997 гг. средняя продолжительность во все месяцы уменьшилась, зато в 1998-2015 гг. возросла, и максимум с небольшим превосходством над маем сместился на август.

Максимальная средняя продолжительность действия ЭЦМ 12вл также приходится на май. (1,43). Почти одинаковая средняя продолжительность его действия отмечается в сентябре и июне (0,92 и 0,91 соответственно). В период 1981-1997 гг. продолжительность ЭЦМ 12вл немного уменьшилась. В период 1998-2015 гг. она немного возросла, особенно в мае (2,39 дня).

Суммарная средняя продолжительность действия всех выявленных ЭЦМ составляет в среднем многолетнем около трети каждого месяца. В период 1981-1997 гг. она составляет во все месяцы, кроме сентября, более половины месяца. В период 1998-2015 гг. действие ЭЦМ 9а, 12а, 12бл и 12вл в мае и июне отмечается в течение уже более двух третей месяца, а также более половины во все остальные месяцы. Это объясняет, почему связи изменений ледовитости акваторий Арктики именно с вариациями продолжительности действия данных ЭЦМ в рассматриваемый период являются значимыми и устойчивыми.

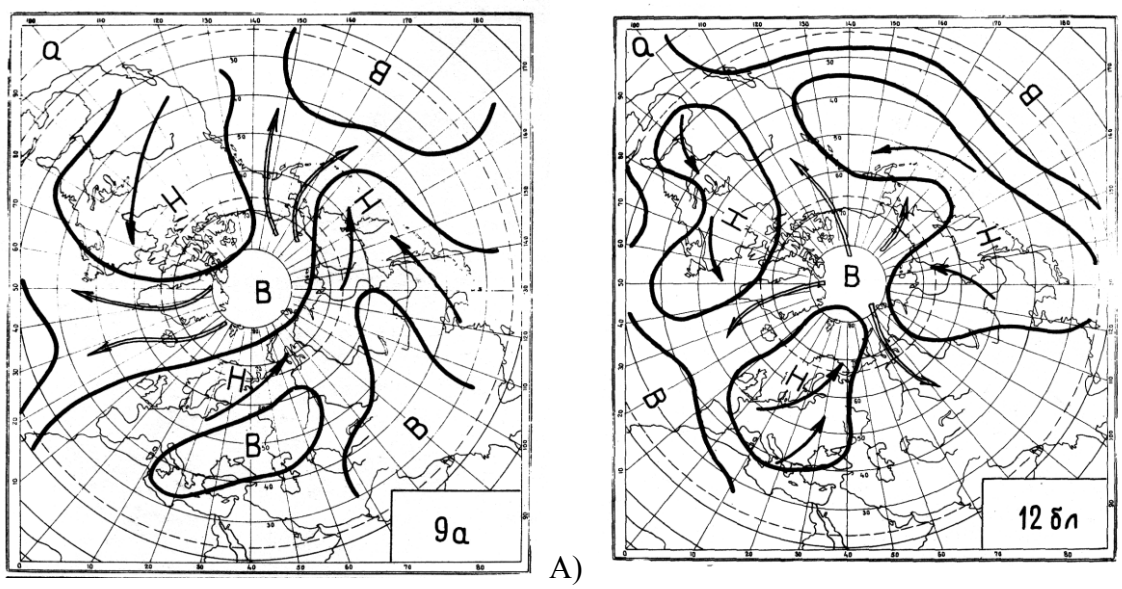
Расположения выявленных районов Арктики удовлетворительно согласуются с динамическими схемами этих ЭЦМ, составленными Б. Л. Дзердзеевским [8].

В этом нетрудно убедиться, сопоставив рисунки 1 и 2 с динамическими схемами ЭЦМ 9а и 12бл, которые представлены на рисунке 7.

Рисунок 7 показывает, что, несмотря на существенные различия структур атмосферной циркуляции, которые соответствуют ЭЦМ 9а и 12бл, некоторые их особенности совпадают. В частности, как видно из сопоставления рисунков 4А и 4Б, в периоды действия данных ЭЦМ блокирующие процессы развиваются через восточную часть Дальневосточного и Тихоокеанский сектор Арктики.

По подобным путям развиваются здесь арктические вторжения и в периоды действия ЭЦМ 12а. В результате этого и в июне, и в июле средняя суммарная продолжительность арктических вторжений в указанных секторах при названных ЭЦМ

соответственно составляет 8.72 с и 7.5 суток, что гораздо больше, чем, например, в Европейском секторе.



А) Б)

Рис. 7. *Динамические схемы ЭЦМ (по Б. Л. Дзердзеевскому[8]): А) 9а, Б) 12бл*

Существенной причиной того, что наиболее крупные области устойчивой и значимой корреляции изучаемых процессов расположены в Дальневосточном и Тихоокеанском секторе Арктики, по-видимому, является также влияние на поле скорости ветра в них Тихоокеанского максимума атмосферного давления, который в летние месяцы располагается над Аляской.

Это влияние проявляется в преобладании летом над акваторией Чукотского и восточной части Восточносибирского моря устойчивых ветров южных и юго-восточных направлений (субарктических муссонов). Средняя скорость данных ветров в июне-июле, как правило, составляет 4 – 5 м/с, что позволяет им оказывать значимое механическое воздействие на движение дрейфующих льдов.

В периоды, когда в Тихоокеанском и Дальневосточном секторах развиваются арктические вторжения, субарктические муссоны усиливаются, а обусловленное ими движение на юг дрейфующих льдов активизируется.

В южных районах Восточносибирского и Чукотского морей в августе и сентябре изменения их ледовитости обусловлены не только действием ветров и поверхностных течений, которые пригоняют в них льды, но также процессами их разрушения и таяния. В Восточносибирском море эти процессы происходят с участием тепла, которое доставляют воды реки Колымы, в Чукотском море в них участвует тепло, приносимое Тихоокеанскими водами, поступающими через Берингов пролив.

Температура и Колымских, и Тихоокеанских вод в августе и сентябре максимальны, вследствие чего их влияние на изменения ледовитости южных районов упомянутых морей, через которые они распространяются, наиболее существенно.

Количество тепла, которое доставляют в подобные районы Восточносибирского и Чукотского морей речные и океанические воды, от вариаций продолжительности действия в июне и июле выявленных ЭЦМ практически не зависит.

Вследствие этого статистическая связь данных вариаций с межгодовыми изменениями ледовитости таких районов в августе и сентябре ослаблена. Последнее, по-видимому, и является причиной того, что, как видно и из рисунков 1-5, в южных районах данных морей указанная связь значимой и устойчивой не является.

Отсутствие существенного влияния изучаемых факторов на изменения ледовитости районов, расположенных в приполярных частях упомянутых секторов, объясняется не только более высокой консолидацией (а значит и устойчивостью к воздействию ветра) их ледового покрова, но и иными направлениями преобладающих летом над ними ветров.

В районах Дальневосточного и Тихоокеанского сектора, для которых установлено, что связи межгодовых изменений их ледовитости в августе и сентябре с вариациями ЭЦМ 9а и 12бл являются устойчивыми и значимыми, главным фактором этих изменений является ветровой дрейф льдов. В июне, июле, а также начале августа в таких районах их дрейф обусловлен действием преобладающих южных и юго-восточных ветров. Поэтому лед из них выносится к югу.

Чем больше продолжительность действия в июне и июле ЭЦМ 9а и 12бл, тем сильней в эти месяцы в подобных районах южные ветры, тем интенсивней здесь ветровой дрейф к югу ледовых полей и меньше их остаток в августе-сентябре. Последнее объясняет наличие отрицательной корреляции межгодовых изменений ледовитости выявленных районов Дальневосточного и Тихоокеанского сектора Арктики в августе и сентябре с вариациями продолжительности действия в июне и июле ЭЦМ 9а и 12бл.

Как известно [19], следствием происходящего увеличения содержания в земной атмосфере парниковых газов является повышение в летние месяцы температур приземного слоя атмосферы. Поскольку это потепление обусловлено возвратом к земной поверхности части потока уходящей от нее тепловой радиации, оно тем значительней, чем выше ее температура. Вследствие этого наиболее ощутимо подобное потепление проявляется летом над континентальными регионами нашей планеты, что приводит к снижению над ними атмосферного давления. В то же время над покрытыми льдом акваториями Арктики (поверхностная температура которых изменяется в меньшей степени) атмосферное давление изменяется менее заметно. Поэтому разность атмосферного давления над этими акваториями и многими внутренними территориями Евразии и Северной Америки возрастает. Последнее способствует усилению над акваторией Восточносибирского и Чукотского морей субарктических муссонов. То же явление может являться одной из причин увеличения продолжительности развития в Дальневосточном и Тихоокеанском секторах арктических вторжений, а значит и действия связанных с ними ЭЦМ.

Изложенные соображения, а также полученные результаты позволяют предположить, что при дальнейшем накоплении в земной атмосфере парниковых газов продолжительность действия ЭЦМ 9а и 12бл будет увеличиваться, а ледовитость выявленных акваторий Дальневосточного и Тихоокеанского сектора Арктики в августе и сентябре - снижаться.

ВЫВОДЫ

Таким образом, установлено:

1. В Арктике существуют районы, для которых межгодовые изменения ледовитости в августе-сентябре значимо и устойчиво связаны с вариациями продолжительности действия в мае- августе ЭЦМ 13л, 9а, 12бл, 12а и 12 вл.

2. Несмотря на то, что подобные районы существуют во всех секторах Арктики, их суммарные площади являются максимальными в ее Тихоокеанском и Дальневосточном секторах, если при оценке характеристик соответствующих им связей учитываются вариации продолжительности действия ЭЦМ 9а в июне и июле, либо ЭЦМ 12бл в июле.

3. Расположения выявленных районов совпадают с путями распространения в периоды действия указанных ЭЦМ арктических вторжений, которые выявлены Б. Л. Дзердзеевским. Это позволяет предполагать существование причинной связи между рассматриваемыми процессами, которая при дальнейшем увеличении содержания в земной атмосфере парниковых газов будет становиться более устойчивой и усиливаться.

4. Через некоторые из выявленных районов проходят соответствующие участки трассы Северного морского пути, вследствие чего дальнейшее изучение возможностей использования выявленных связей при долгосрочном прогнозировании изменений ледовитости их акваторий представляется актуальным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абузяров З.К., Шамраев Ю.И. Морские гидрологические информации и прогнозы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 218 с.

2. Айвазян С.А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика и основы эконометрики. – М.: Юнити, 1998. – 1022 с.

3. Алексеев Г. В. Исследования изменений климата Арктики в XX столетии/ Г. В. Алексеев // Труды ААНИИ. – 2003. – Т. 446. – С. 6-21.

4. Белинский Н.А. Использование некоторых особенностей атмосферных процессов для долгосрочных прогнозов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1957. – 203 с.

5. Берг Л.С. Уровень Каспийского моря и условия плавания в Арктике. Климат и жизнь. – М.: ОГИЗ, 1947. – С. 90-95.

6. Визе В. Ю. Основы долгосрочных ледовых прогнозов для арктических морей // Труды ААНИИ. – 1944. – Т.190. – 273 с.

7. Дзердзеевский Б.Л. Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов / Б.Л. Дзердзеевский, В.М. Курганская, З.М Витивицкая // Тр. Н.-и. учреждений Гл. упр. Гидрометеорол. Службы при Совете Министров СССР. Сер. 2 Синоптическая метеорология;. – Вып. 21. Центральный институт прогнозов. – М., Л.: Гидрометиздат, 1946. – 80 с.

8. Дзердзеевский, Б.Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере Северного полушария в XX столетии // Материалы метеорологических исследований. изд. ИГ АН СССР и Междувед. Геофиз. Комитета при Президиуме АН СССР. – М, 1968. – 240 с.

9. Думанская И.О., Федоренко А.В. Анализ связи ледовых характеристик морей европейской части России с макроциркуляционными атмосферными процессами // Метеорология и гидрология. – 2008. – № 12. – С. 82–94.

10.Зубов Н. Н. Морские воды и льды. – М.: Гидрометиздат, 1938**.** – 454 с.

11.Кан С.И. Современное состояние методов ледовых прогнозов на морях СССР // Океанология. – 1967. – Т.7, Вып. 5. – С. 786-792.

12.Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б. Л. Дзердзеевскому. – М.: ИГ РАН. Воентехиниздат, 2009. – 372 с.

13.Кононова Н.К. Особенности циркуляции атмосферы Северного полушария в конце XX – начале XXI века и их отражение в климате // Сложные системы. – 2014. – № 2 (11). – С. 11–36.

14.Наставление по службе прогнозов. Раздел 3, часть. III. Служба морских гидрологических прогнозов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – 143 с.

15.Скворцов А. В. Триангуляция Делоне и ее применение. – Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2002. – 128 с.

16.Фролов И. Е. Климатические изменения ледовых условий в арктических морях Евразийского шельфа / И. Е. Фролов, З. М. Гудкович, В. П. Карклин, Е. Г. Ковалев, В. М. Смоляницкий // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2007. – вып. 75. – С. 149-160.

17.Шулейкин В.В. Физика моря. – М.: Наука, 1968. – 1083 с.

18.Zakharov V. G., Kononova N. K. (2015). Relationship of dynamics of filds of ice drift in the arctic basin and atmospheric circulation northern hemisphere (summer season) //The complex systems, Interdisciplinary Scientific Journal, 2015, no. 1 (2), pp.45-57.

19.Climate Change 2007 – Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to Assessment Report Four of the Intergovernmental Planes of Climate Change (IPCC). Cambridge University Press. – Cambridge. UK. 2007. – 973 p.

20.База данных о ледовитости различных районов Мирового океана [Электронный ресурс] / URL: http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data. noaa.oisst.v2.html/

21.Колебания циркуляции атмосферы Северного полушария в XX – начале XXI века [Электронный ресурс] / URL: http://www.atmospheric-circulation.ru

THE CHANGING OF KHARACTERISTICS OF NORTHERN HEMISPHERE ATMOSPHERIC CIRCULATION AND ARCTIC ICE COVER

Kholoptsev A.V. [1], (Dr. Sci. (Geography),
Kononova N.K. [2] (Cand. Sci. (Geography)
[1]*Sevastopol State University, Navigation and security navigation Departament, Sevastopol, Russian Federation;*
[2]*Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences.Moscow, Russian Federation*

[1]kholoptsev@mail.ru; [2]NinaKononova@yandex.ru

Abstract. Sustained and statistically significant teleconnections between the modern changes of mean monthly values of sea ice extent of water areas through which in the Arctic waters regions in August, and the variations of the total duration of the period prevalence of typical of the summer months Elementary Circulation Mechanisms, which refer to groups of Meridional Northern and Meridional Southern were revealed.

Key words: ice cover, the Arctic waters, atmospheric circulation, elementary circulation mechanisms, repeatability, teleconnections

REFERENCES

1. Abuzjarov Z.K., Shamraev Ju.I. Morskie gidrologicheskie informacii i prognozy. L.: Gidrometeoizdat, 1974, 218 p.

2. Ajvazjan S.A., Mhitarjan V. S. Prikladnaja statistika i osnovy jekonometriki. M.: Juniti, 1998, 1022 p.

3. Alekseev G. V. Issledovanija izmenenij klimata Arktiki v HH stoletii/ G. V. Alekseev. *Trudy AANII*, 2003, vol. 446, pp. 6-21.

4. Belinskij N.A. Ispol'zovanie nekotoryh osobennostej atmosfernyh dlja dolgosroch-nyh prognozov. L.: Gidrometeoizdat, 1957, 203 p.

5. Berg L. S. The level of the Caspian Sea and sailing conditions in the Arctic. Climate and life. M: OGIZ, 1947, pp. 90-95.

6. Vize V. Ju. Osnovy dolgosrochnyh ledovyh prognozov dlja arkticheskih morej. *Trudy AANII*, 1944, vol.190, 273p.

7. Dzerdzeevskij B. L. Tipizacija cirkuljacionnyh mehanizmov v severnom polusharii i harakteristika sinopticheskih sezonov / B. L. Dzerdzeevskij, V. M. Kurganskaja, Z. M Vitivickaja. *Tr. N.-i. uchrezhdenij Gl. upr. Gidrometeorol. Sluzhby pri Sovete Ministrov SSSR. Ser.2 Sinopticheskaja meteorologija*, 1946, vyp. 21, 80 p.

8. Dzerdzeevskij, B. L. Cirkuljacionnye mehanizmy v atmosfere Severnogo polusharija v HH stoletii. Materialy meteorologicheskih issledovanij. M.,1968, 240 p.

9. Dumanskaja I.O., Fedorenko A.V. Analiz svjazi ledovyh harakteristik morej evropej-skoj chasti Rossii s makrocirkuljacionnymi atmosfernymi processami. *Meteorolo-gija i gidrologija*, 2008, no. 12, pp. 82–94.

10. Zubov N. N. Morskie vody i l'dy. M.: Gidrometizdat, 1938, 454 p.

11. Kan S.I. Sovremennoe sostojanie metodov ledovyh prognozov na morjah SSSR. *Okeanologija*, 1967, vol. 7, no. 5, pp. 786-792.

12. Kononova N. K. Klassifikacija cirkuljacionnyh mehanizmov Severnogo polusharija po B. L. Dzerdzeevskomu. M. IG RAN, 2009, 370 p.

13. Kononova N. K. Osobennosti cirkuljacii atmosfery Severnogo polusharija v konce HH – nachale HHI veka i ih otrazhenie v klimate [Features northern hemisphere atmospheric circulation in the late XX - beginning of XXI century and their reflection in climate] *Slozhnye sistemy – The complex systems*, 2014, no. 2 (11), pp. 11–36.

14. Nastavlenie po sluzhbe prognozov. Razdel 3, chast'. III. Sluzhba morskih gidrologiche-skih prognozov. L.: Gidrometeoizdat, 1982, 143 p.

15. Skvorcov A. V. Trianguljacija Delone i ee primenenie. Tomsk: Izd-vo Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, 2002, 128 p.

16. Frolov I.E. Klimaticheskie izmenenija ledovyh uslovij v arkticheskih morjah Evrazijskogo shel'fa/ I. E. Frolov, Z. M. Gudkovich, V. P. Karklin, E. G. Kovalev, V. M. Smoljanickij. Problemy Arktiki i Antarktiki, 2007, vyp. 75, pp.149-160.

17. Shulejkin V.V. Fizika morja. M.: Nauka, 1968, 1083 p.

18. Zakharov V. G., Kononova N. K. Relationship of dynamics of filds of ice drift in the arctic basin and atmospheric circulation northern hemisphere (summer season). *The complex systems*, Interdisciplinary Scientific Journal, 2015, no. 1 (2), pp. 45-57.

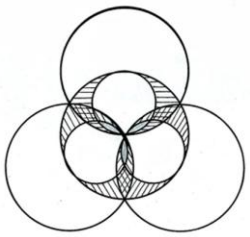
19. Climate Change 2007 – Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to Assessment Report Four of the Intergovernmental Planes of Climate Change (IPCC). Cambridge University Press. – Cambridge. UK. 2007. 973p.

20. Baza dannyh o ledovitosti razlichnyh rajonov Mirovogo okeana. URL: http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.html/

21. Kolebanija cirkuljacii atmosfery Severnogo polusharija v XX – nachale XXI veka. URL: http://www.atmospheric-circulation.ru

УДК 167.0

ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСА В ПРОЦЕССЕ ЭВОЛЮЦИИ СЛОЖНОЙ САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЫ



Смирнов В. Л. (к. ф.-м. н.)
Санкт-Петербург, РФ
VladimirL.Smirnov@yandex.ru

Аннотация. Рассматривается одна из ветвей эволюции (развёртывания) предложенной ранее протоструктуры. Последняя понимается как инструмент самоорганизации объектов вне зависимости от их природы, представляется на числовой оси и, предположительно, моделирует общие свойства пространства-времени. Протоструктура состоит из двух компонент, которые в свою очередь формируются из циклов – систематически повторяющихся наборов отношений. Циклы состоят из узлов – отдельных разрешенных состояний, связанных определёнными правилами. Наличие или установление связей между компонентами, циклами или узлами понимается как их взаимодействие. Предлагаются принципы, правила и критерии устойчивости при группировке узлов. Рассматривается взаимодействие двух циклов протоструктуры, в результате чего формируется узловой комплекс, устойчивая часть которого именуется каркасом. Анализируются неустойчивости – границы формирования каркаса, а также сам каркас, состоящий из базы и двух крыльев – устойчивого и изменчивого. Модель не содержит подгоночных параметров и ориентирована на выявление жестких связей между узлами каркаса: изменение позиции одного из его узлов приводит к деформации всех остальных узлов группы. Каркас представляет собой устойчивый и способный к дальнейшей эволюции набор позиций. Указывается, что ряд полученных элементов каркаса может быть интерпретирован как спектр разрешенных состояний для параметра порядка системы; другие позиции играют роль центров симметрии. В частности, схема пригодна для объяснения механизма формирования радиуса Солнца и продолжительности циклов активности на его поверхности в плоскости эклиптики.

Ключевые слова: сложные системы, самоорганизация, эволюция, параметр порядка, циклы

1. ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.

Характеристика ситуации. Вопросы возникновения, эволюции (развёртывания) и устойчивости структур являются [1-4, 7-10] предметом внимания в разных областях знания. С позиций синергетики [10] перспективным считается исследование спектра разрешенных состояний сложной системы, которая [9] не содержит специфики реальных объектов и подчиняется [3, 8, 10] параметру порядка. Сейчас спектры разрешенных состояний [10] для параметра порядка известны только для отдельных систем. Предполагается, что выявление структурных закономерностей будет способствовать установлению тесных связей между различными ветвями знания, например, между разными законами в физике.

В [5, 6] представлен вариант ответа на вопрос, как генерируется указанный выше спектр и каким образом элементы спектра объединяются с помощью параметра порядка. В предложенном подходе под структурой понимается совокупность отношений. Спектр задаётся позициями протоструктуры – двухкомпонентной системы

отношений на числовой оси. Обе компоненты состоят их циклов – повторяющихся наборов отношений, которые взаимодействуют между собой. Предполагается, что протоструктура является первоосновой формирования разных природных объектов. Протоструктура может эволюционировать вдоль разных ветвей, заполняя тем самым различные структурные ниши. Если одна из компонент задаёт две разные первичные характеристики и их совмещение оказывается оптимальным, то в процессе эволюции [6] формируется параметр порядка. Данный параметр и подчинённые ему относительные характеристики могут интерпретироваться в терминах реально наблюдаемых структур. В [6] показана достаточно высокая эффективность методики применительно к структуре Солнечной системы.

Объектом исследования в настоящей работе является одна из ветвей эволюции протоструктуры. Исходным материалом - сырьём для процесса служат позиции числовой оси, которые принадлежат двум циклам протоструктуры. Эти позиции сформированы наподобие цепочки друг за другом и наделены сравнительно простыми связями. На основе указанного сырья формируется продукт - комплекс, под которым здесь понимается крупная группа разрешенных на числовой оси состояний. В комплексе реализуются многочисленные и ранее отсутствовавшие связи между группами узлов; эти связи рассматриваются в двух измерениях. Сам комплекс является сложным образованием и не может быть представлен сразу и целиком. В настоящей работе выявляется каркас - набор устойчивых элементов комплекса из 27 позиций. При этом одна часть набора действительно реализуется, а другая играет роль центров симметрии, на основе которых разворачивается дальнейшее согласование.

Задача работы заключается в том, чтобы: a) предложить правила формирования каркаса комплекса на основе исходного спектра; b) рассмотреть структурный сценарий сборки каркаса на числовой оси и c) продемонстрировать особенности предлагаемой схемы, указав при этом на возможные варианты её использования. Интерпретация каркаса представляет собой специальную задачу и в настоящей работе не рассматривается.

Предлагаемое решение сводится к следующему. 1. Формируется геометрическая схема, которая представляет комплекс и его каркас. Для элементов каркаса вводятся два варианта взаимодействия, которые рассматриваются по горизонтали и вертикали. 2. Схема заполняется элементами исходного спектра в соответствии со специальной методикой. При этом два цикла протоструктуры взаимодействуют, в результате чего часть элементов исходного спектра деформируется для согласования и объединяется в каркас комплекса. 3. Между указанными элементами выявляются разнообразные варианты компромисса, которые приводят к устойчивости каркаса. В пределах каркаса одна часть элементов представляется как устойчивая, а другая – как изменчивая и способная к дальнейшей эволюции.

2. ПРОТОСТРУКТУРА.

Протоструктура [5] состоит из двух компонент - жесткой (ЖК) и мягкой (МК), которые формируются из циклов – систематически повторяющихся наборов отношений. Циклы состоят из узлов – отдельных разрешенных состояний, связанных

определёнными правилами. Фрагменты протоструктуры поясняются с помощью рис. 1, где $\alpha^{-1} \equiv (1+\alpha) \equiv (1+\sqrt{5})/2 = 1{,}618\ldots$ - золотое сечение [7].

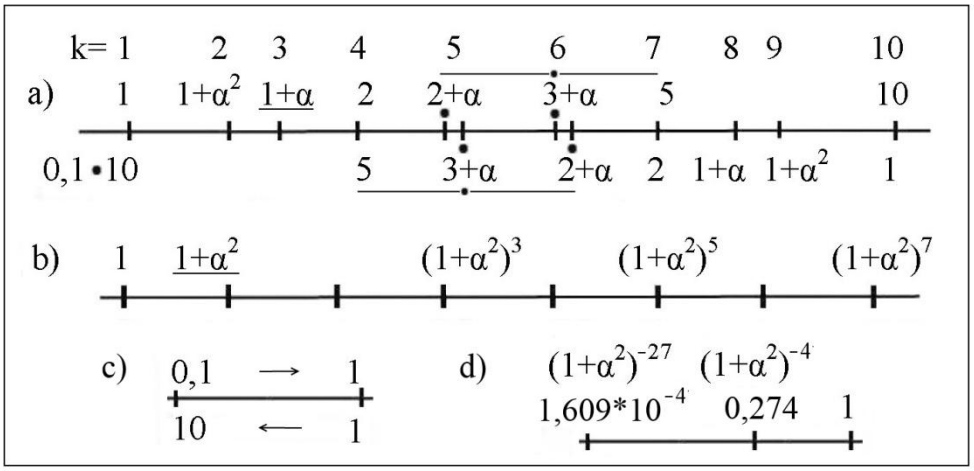


Рис.1. *Фрагмент: a) жесткой компоненты (ЖК) протоструктуры; b) мягкой компоненты (МК); c) ЖК протоструктуры вблизи 1; d) протоструктуры с левой границей системы. Фрагменты c) и d) представлены без ряда деталей,* $\alpha^{-1} \equiv 1+\alpha = 1{,}618\ldots$ *– золотое сечение.*

Фрагмент ЖК представлен на рис. 1a. Цикл ЖК содержит 10 узлов с номерами k=1–10, его диапазон равен 10. Каждое число *a* над осью представляется совместно с дополнительным к нему числом *1/a* под осью. Позиции оси в цикле 1:10 читаются над осью слева направо, а в цикле 0,1:1 под осью – справа налево; наборы отношений в пределах указанных циклов совпадают. Часть позиций здесь не обозначена, а узлы k=5 и 6 расщеплены. Фрагмент МК представлен на рис.1b, диапазон её цикла равен $1+\alpha^2 = 1{,}381\ldots$ Структура циклов воспроизводится в левом и правом направлениях. Исходно компоненты совмещены в 1 и демонстрируют *максимальное* рассогласование между подчёркнутыми узлами $1+\alpha$ и $1+\alpha^2$ двух компонент. Протоструктура [6] имеет границы, одна из которых представлена на рис.1d слева и фиксирует минимальное рассогласование между теми узлами компонент, которые расположены в цикле 10^{-4}:10^{-3} и аналогичны подчёркнутым на рис. 1a и 1b.

В настоящей работе исследуется взаимодействие двух циклов ЖК слева и справа от начала отсчёта, а именно 0,1:1 и 1:10. Мы компонуем их над и под осью так, как это без деталей показано на рис. 1c. Заполнение циклов соответствует рис. 1a, где представлены все задаваемые протоструктурой элементы исходного спектра.

3. МЕТОДИКА.

Методика [5] является тринитарной, ниже приводятся только необходимые для понимания настоящей работы выдержки. С их помощью обосновываются правила формирования каркаса, которые предлагаются в разделе 4. Используемые схемы поясняются с помощью рис. 2.

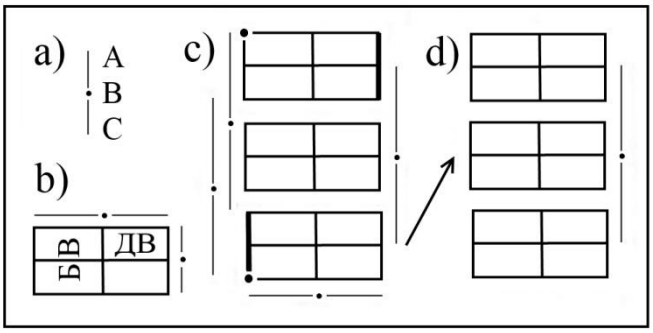


Рис. 2. *Схема формирования (типичный вид): a) триады узлов A - B - C; b) миникомплекса, здесь БВ – ближнее, а ДВ – дальнее взаимодействие; c) каркаса комплекса; d) ядра и границ в неустойчивом крыле комплекса. Детали рисунка поясняются в разделе 4.*

Тринитарность заключается в том, что на каждом уровне анализа выделяется представленная на рис. 2a триада *A – B – C*, в которой позиции *A* и *C* составляют бинарную оппозицию и называются крыльями, а *B* является их базой. База обозначается точкой, а крылья – концами расходящихся от неё линий. Элементы триады *A, B* и *C* выделяются в тексте курсивом, их содержание может быть любым. Так, структура [4] понимается как *сеть*, состоящая из *узлов* – позиций на числовой оси и *связей* – правил, определяющих характер взаимодействия. Термины “узел”, “позиция” и “элемент спектра” употребляются как синонимы.

Наличие или установление связей между элементами *A, B* и *C* трактуется как их взаимодействие. Следствием взаимодействия является группировка узлов, а также их деформация. Отношение Δ=C/A именуется амплитудой взаимодействия или расщеплением в зависимости от контекста. Предполагается, что процедура выбора узлов представляет собой поиск, который моделирует естественный отбор в реальных самоорганизующихся системах. Последовательность структурных событий называется сценарием. Основой выбора являются принципы.

Принцип дополнительности более касается противоречивости элементов оппозиции *A – C*. Примером могут служить пары *устойчивость – изменчивость* и *min – max*. Ситуация, при которой позиции *A* и *C* ставятся в равные условия понимается [1] как симметричный план (аналог равновесия). На числовой оси любое число *a* над осью используется совместно с дополнительным к нему числом *1/a* под осью. Указанные позиции характеризуются как обратимые с тем, чтобы подчеркнуть фактор дополнительности. Примером является ЖК на рис. 1a. При исследовании группировки *объединение* узлов трактуется как *сборка*, а *разъединение* – как *разборка* (расщепление или распад). Дополнительность используется при анализе *оснований* – позиций числовой оси и в то же время при анализе *расщеплений*, которые характеризуют отношения между основаниями. Тем самым *узлы* и *связи* рассматриваются в симметричном плане. Если при анализе мы совершаем какое-либо действие, то стремимся вскоре совершить действие, дополнительное к предпринятому.

Принцип совместимости более относится к базе триады *A – B – C*, где так или иначе фиксируется общность крыльев. В общем случае совместимость есть отсутствие

противоречивости в той или иной степени. Она достигается в процессе группировки узлов и характеризует отдельные отношения и сценарии на качественном и на количественном уровнях. Совместимость является основой сосуществования и объединения узлов, она увеличивает число связей, способствует устойчивости и выживанию. Устойчивость выступает как относительное понятие. Полная совместимость возможна в деталях, но в целом понимается как недостижимый идеал, а при моделировании сложных ситуаций [4] нежелательна. В настоящей работе используется связь $B^2=AC$, которую мы рассматриваем как следствие симметричного плана.

Процесс эволюции (развёртывания) трактуется как поиск совместимости между разными вариантами порядка. Процедура *выбора* моделирует процедуру *отбора* в реальных самоорганизующихся системах, отбор [9] подобен дарвиновскому. Порядок [3,8] отождествляется с существованием общих, однотипных отношений в *узлах* и *связях.* Он рассматривается на основе элементов пары *сосуществование – конкуренция***.** При анализе эволюции термин “деформация” используется для общей характеристики изменений, а термин “трансформация” понимается как сдвиг и расщепление. Предельно возможная совместимость дополнительных узловых конфигураций трактуется как эволюционная зрелость. При анализе эволюции различаются *необратимый* и *циклический* аспекты.

Необратимость означает, что развёртывание подобно системе ступеней, возвращения к началу нет, и уже реализованный сценарий более не повторяется. В таком случае постепенное наращивание совместимости удобно представлять как трансформацию элементов пары *сходство отношений* → *совпадение*, где разделяются процесс и как своего рода предел - результат. Если говорить о процессе отбора, то совместимость меняется непрерывно, но при выборе описывается нами дискретным образом с помощью триады этапов. В ходе эволюции [4] худшие (недостаточно совместимые) варианты заменяются лучшими.

Результатом поиска является совпадение (иначе – вырождение) узлов, которые принадлежат к разным узловым конфигурациям и, соответственно, интерпретируются дополнительным образом. Любое совпадение здесь трактуется как тождественное, иные случаи оговариваются. При этом тождественность, также как и в [5], не доказывается, а лишь предполагается на основании совпадения результатов вычислений с точностью до седьмого разряда.

Цикличность понимается как систематическое повторение сценария. Например, конкурирующие варианты выбора сменяют друг друга, поскольку не обнаруживается наилучшая совместимость. Или используется пара *сырьё – продукт*: итоги любого предыдущего этапа эволюции в его пределах понимаются как *продукт*, но рассматриваются уже как *сырьё* для последующего этапа, где в результате опять возникает *продукт*, и цикл повторяется. Таким образом, учитывается предыстория. Цикличность трактуется как важный частный случай совместимости последующего этапа эволюции с предыдущими.

Принцип уникальности используется как средство снижения исходной неопределённости, поскольку в основе первоначального выбора лежат [4] нечёткие соображения. Это значит, что сначала на любом из этапов уникальным позициям или

структурным ситуациям отдаётся предпочтение: *частное* выделяется из *общего*. Выделяются, например, [5] результаты деления отрезка на равные доли и в золотом отношении. Уникальные структуры [4,5] относятся к "структурам предпочтения", при ориентации на них симметричный план явно нарушается. Следует заметить, что указанный принцип в иерархическом плане занимает наиболее высокие позиции. Так, к уникальности можно отнести эволюционную зрелость структуры, тождественную совместимость позиций, симметричный план и т.д. Большая часть методических приёмов, которые мы используем, соответствует этому принципу.

4. ПРАВИЛА СБОРКИ КАРКАСА.

Правила сборки каркаса удобно перечислить и занумеровать с тем, чтобы на них ссылаться. Здесь представляются элементы триады *принципы → правила → критерии*. Следует понимать, что каждый отдельный шаг полностью обосновать нельзя; оценивается только конечный результат, который подчиняется выбранным критериям. Принципы и правила, если ориентироваться на [4], не являются совокупностью простых, независимых, "истинных" утверждений. Они скорее дают совет, каким образом их следует использовать, как надо смотреть на ту или иную структурную ситуацию. Определённость характерна только для критериев.

Принципы *дополнительность – уникальность – совместимость* символизируются скобками вида **{**X**}.** Симметричный план также отнесён к принципам. Правила заключены в круглые скобки вида (Y)**.** Критерии - "окончательные" правила, при выполнении которых реализуется относительная устойчивость, обозначены угловыми скобками вида <Z>**.** Смысл некоторых правил и критериев будет разъяснён в следующих разделах.

{1**} –** *Симметричный план* - постановка позиций *A* и *C* в равные условия. Такой план допускает разные интерпретации.

(1.1) – Все количественные связи формируются только на основе $B^2=AC$.

(1.2) – Направления *слева направо* и *справа налево* одинаково существенны.

(1.3) – Элементы пары *устойчивость – изменчивость* ставятся в равные условия.

{2**} -** *Дополнительность* – противопоставление *A* и *C*.

(2.1) – Правила распределяются по узлам, реализуется своего рода специализация.

(2.2) – Имеет место дополнительность по отношению к предыдущему шагу.

(2.3) **–** Имеет место двойная интерпретация, например, крыло рассматривается как база, либо - наоборот.

(2.4) – Отрезки оси 1:10 и 0.5:1 трактуются как дополнительные. Так представляются весь цикл над осью и единичный отрезок под осью.

(2.5) – Если стабилизируются позиции *в крыле расщеплений* Δ, то становятся устойчивыми и позиции *в базе оснований*.

{3} **–** *Совместимость* – отсутствие противоречивости *A* и *C*. В сложных ситуациях достигается постепенно в ходе поиска.

(3.1) – Исходно все связи в триадах формируются только на основе имеющихся узлов ЖК протоструктуры. На новом этапе используются узлы предыдущего этапа. Тем самым учитывается предыстория.

(3.2) – Фиксируется (выживает) совместимый вариант, когда имеет место либо совпадение узлов, либо их обратимость, при которой $C=1/A$.

(3.3) – При деформации узлов ранее достигнутые совпадения и обратимости сохраняются.

<3.4> – Миникомплекс устойчив, если две его диагональные позиции обратимы (раздел 5, см. рис.2b)

<3.5> – Каркас устойчив, если отношения между узлами в диагональных позициях ΔБВ обратимы (раздел 5, см. утолщённые линии на рис. 2c). См. также <3.6>**.**

<3.6> – Каркас устойчив, если крайние узлы в его крыльях совпадают (раздел 5, см. ● на рис. 3c). См. также <3.5>**.**

<3.7> – Верхнее крыло каркаса устойчиво, если один из узлов этого крыла совпадает с узлом МК протоструктуры, которая представлена на рис. 1b.

{4**}** – *Уникальность* – предпочтение отдаётся уникальным позициям.

(4.1) – Выделяются в первую очередь те узлы протоструктуры, которые соответствуют делению отрезков на равные доли, в золотом отношении, или являются границами цикла. При использовании (1.1) выделяется база *B*.

(4.2) – Выделяются уже имеющиеся узлы, узлы, которые формируют *min*-вариант, например, ближайшие узлы, либо *max*-вариант, когда узлы предельно удалены друг от друга.

{5} – Цикличность – повторяемость, воспроизводимость.

(5.1) – Цикличность реализуется при диапазоне 10.

(5.2) – Цикличность реализуется в схеме *сырьё – продукт*.

(5.3) – Цикличность реализуется при повторении сценария.

(5.4) – ΔДВ и ΔБВ формируются по единому сценарию (раздел 6).

Часть правил имеет универсальный характер. Например, параметр порядка [6] сформирован согласно (1.1), (3.1), (3.2) (5.1) – (5.3).

5. КОМПЛЕКС И ЕГО КАРКАС: КАЧЕСТВЕННЫЙ ПОРТРЕТ.

Миникомплекс. Исходно охарактеризуем комплекс и его каркас как геометрическую схему. На основе {1**}**-{3**}** триады объединяются в миникомплекс – группу из 9 узлов, которая представлена на рис. 2b. Здесь согласно (2.3) любой узел интерпретируется двояко: как база-база (в центре), крыло-крыло (в диагональных позициях) или крыло-база. Далее согласно (2.1) взаимодействие, которое представляется по горизонтали, именуется *дальним* (ДВ), а по вертикали – *ближним* (БВ).

Каркас комплекса формируется при условиях {1} и (5.3) как триада на основе трёх миникомплексов. Он изображен на рис. 2c и включает 27 узлов, из которых 9 образуют его базу или ядро, а 18 (9+9) формируют два крыла – верхнее и нижнее. Согласно (2.1) принимается, что всегда в верхнем крыле миникомплекса или комплекса рассогласование сводится к *min*, а в нижнем достигает *max*. Соответственно в верхнем крыле каркаса реализуется *устойчивость*, а в нижнем – *изменчивость*. Каркас достигает эволюционной зрелости прежде всех других позиций. В нижнем крыле позиции каркаса в ходе дальнейшего поиска совместимости играют роль центров симметрии, вокруг которых разворачивается сценарий. Результаты этого поиска,

наряду с позициями верхнего крыла, и образуют собственно комплекс. Так, расщепление нижнего крыла соответствует (5.3) и показано на рис. 2d. В целом формирование каркаса ориентировано более всего на (5). Он возникает потому, что согласно {2} разные варианты порядка имеют равное право на существование. Связи представлены символами (см. —·—).

При сборке каркаса исходно формируются два дополнительных варианта - *верхняя* и *нижняя* границы неустойчивости (см. разделы 6 и 7). Эта ситуация иллюстрируется согласно **{1}** с помощью того же рис. 2c, где крылья – указанные границы, соответствующие (2.1). Каркас возникает как база для границ в результате преодоления неустойчивости путём компромисса (см. раздел 8).

6. СБОРКА КАРКАСА: ВЕРХНЯЯ ГРАНИЦА НЕУСТОЙЧИВОСТИ (ЭТАП A, ТАБЛ.1A).

Предварительные пояснения. Сценарий эволюции рассматривается по этапам *A – B – C* и представляется в таблице 1.

Таблица 1. *Сборка каркаса комплекса: a) верхняя граница неустойчивости (сборка от оснований); b) каркас комплекса; c) нижняя граница неустойчивости (сборка от расщеплений); Для a) – c) характер связей одинаков и соответствует рис. 2b и 2c. Символы C, S, Hl и CH поясняются в разделе 9.*

a)

							ΔДВ
C		**0,1→**		0,248602	**←0,618033**		**6,180339**
		0,102333	1,170	**←0,268999→**	0,707106	1,25	6,909830
		0,104721*		0,291069*	0,809016* **Hl**		7,725424
		0,114412		0,200561	0,351577		3,072900
		0,109681	2,114	0,291165	0,775564	5,295	7,071067
		0,105146		0424135	1,710862*		16,27127
	1/1,239	0,130901*		**←0,161803→**	**0,2** **Ch**		1,527864
		0,117557	**3,819**	0,316227	0,850650	22,43	**7,236067**
S		0,105572		**←0,618033→**	**3,618033***		34,27051

b)

C		**0,110247**		**0,274079**	0,681369		6,180339
		0,107298	1,059	0,282051	0,741415	1,25	6,909830
		0,104428		0,290254	0,806753 **Hl**		7,725424
		0,119963		0,213927	**0,381490**		3,180049
		0,113454	Δ=2	0,302539	0,806752	Δ=5	7,110804
		0,107298		0,427855	1,706074 □		15,90024
	1/1.184	0,130535		0,166976	0,213591 **Ch**		1,636271
		0,119963	3,777	0,324514	! 0,877849	**20**	7,317627
S		**0,110247**		0,630685	! 3,607910		32,72542

c)

C		**0,111178**		0,276393	0,687121		6,180339
		0,107599	1,047	0,282842 ○	0,743496	1,25	6,909830
		0,104136*		0,289442*	0,804495* **Hl**		7,725424
		0,120300		0,213927	0,380421		3,162277
		0,113772	Δ=2	0,302539 ○	0,804495	Δ=5	7,071067
		0,107599		0,427855	1,701300*		15,81138
	1/1,170	0,130170*		0,165579	0,210619 **Ch**		1,618033
		0,120300	3,819	0,323606 ○	0,870500	**20**	7,236067
S		**0,111178**		0,632455	3,597814*		32,36067

В ходе этапа *A*, т.е. в данном разделе граница неустойчивости анализируется *от оснований* – позиций на числовой оси и рассматривается в табл. 1a. Далее на этапе *C* граница анализируется *от расщеплений* Δ – отношений между основаниями и представляется в табл. 1c. Границы неустойчивости *A* и *C* понимаются как грубые приближения в ходе поиска. Наконец, в ходе этапа *B* формируется каркас комплекса, он как базовый размещён в табл.1b.

Вся таблица построена на основе (1.1), узлы в её пределах для простоты рассматриваются только над осью, позиции ΔДВ приведены в полном объёме справа, значения ΔБВ указаны частично и, как правило, без знака Δ. Символы вида S поясняются в разделе 9, а связи обозначены как примеры только для части триад (см. —•—). Ради связности текста некоторые правила повторяются, т.е. мы не только ссылаемся на номера. Начальный этап поиска отличается наибольшей неопределённостью; исходные варианты выбора ориентированы на правила (3.1) и (4.1).

В нижнем крыле табл. 1a процесс объединения узлов разворачивается от баз к крыльям. Здесь узлы протоструктуры выделены, а короткие стрелки указывают направление при установлении связей. Согласно (1.1), (3.1), (4.1) и (4.2) узел $0{,}1(1+\alpha)=0{,}161$ взаимодействует с ближайшим соседом 0,2 и формирует узел 0,130. Согласно тем же правилам и (2.2) узел $\alpha=0{,}618$ взаимодействует с удалённым узлом $3+\alpha=3{,}618$ и формирует узел 0,105. Отметим, что здесь при выборе мы ограничены узлом 0,1 (см. левую вертикаль). Остальные позиции нижнего крыла достраиваются согласно (1.1). Видно, что базой этого крыла является позиция $\sqrt{0{,}1}=0{,}316$, которая представляет взаимодействующие циклы в целом, поскольку под осью она читается как $\sqrt{10}=3{,}162$. Полученная в средней вертикали позиция $\Delta\text{БВ}=3{,}819=10/(2+\alpha)$ соответствует крылу узла k=6 на рис.1a и отвечает (3.1). Также (3.1) выполняется для расщепления ΔДВ=7,236, которое совпадает с k=9.

В верхнем крыле табл. 1a согласно (1.1), (3.1) и (4.1) узлы 0,1 и 0,618 объединяются от крыльев к базе 0,248 , при этом база 0,618 (см. низ табл. 1a) становится крылом, а соответствующее k=8 основание 1/0,161=6,180 выступает как ΔДВ, что отвечает (2) и (2.3). В качестве базы крыла выбирается узел 0,268, который соответствует под осью базе узла k=6 на рис.1a. Этот узел понимается согласно **{**2**}** как дополнительный к $\sqrt{0{,}1}$, т.к. реально имеется в протоструктуре.

Поскольку узел $\sqrt{0{,}1}$ уже расположен в базе нижнего крыла, в крыле верхнего крыла в соответствии с (4) выбирается согласно (1.1), (2.4) и (3.1) геометрический центр альтернативного интервала 0,5:1, т.е. узел $\sqrt{0{,}5}=0{,}707$. Остальные позиции верхнего крыла достраиваются по правилу (1.1). После этого также на основе (1.1) формируется база варианта – три горизонтали в центре табл.1a.

Оценка верхней границы. В полученных базовых позициях ΔДВ 6,909 – 7,071 – 7,236 узел $7{,}236=10/(1+\alpha^2)$ совпадает с k=9 на рис.1a, а промежуточный представляет собой $\sqrt{50}=7{,}071$. Отношения узлов в диагональных позициях ΔБВ оказываются близкими, если их рассматривать как обратные (см. 1,239 против 1,309), что указывает

на возможность выполнения (3.4). Позиция ΔБВ=1,309=(2+α)/2 (так наз. “золотой вурф”) отличается на порядок от основания 0,1309 в левой вертикали нижнего крыла. Позиции 7,071 в ΔДВ и 0,707 в правой вертикали отличаются аналогичным образом, что соответствует (5.1). В целом основания в табл.1а рассматриваются согласно (5.2) как *сырьё*, а расщепления Δ формируются как *продукт*.

7. СБОРКА КАРКАСА: НИЖНЯЯ ГРАНИЦА НЕУСТОЙЧИВОСТИ (ЭТАП С, ТАБЛ.1С).

Сборка производится при опоре на расщепления и поясняется в табл.1с. Её удобно представить как своего рода корректировку уже имеющихся отношений в табл.1а. Здесь уже расщепления (отношения между основаниями) согласно (2.2) рассматриваются как *сырьё*, а полученные в результате основания играют роль *продукта*. Суть корректировки поясняется с помощью рис. 3.

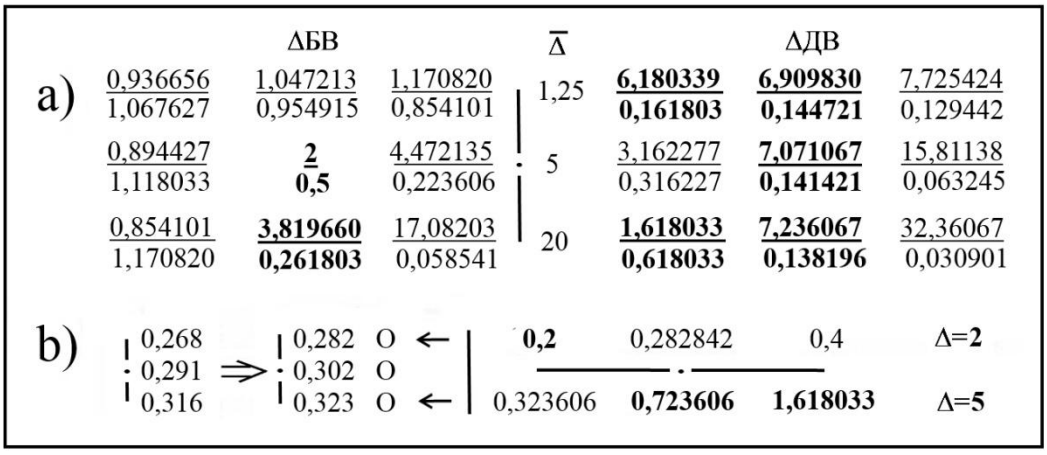


Рис. 3. *Корректировка представленных в табл. 1а: а) амплитуд взаимодействия ΔБВ и ΔДВ и b) оснований для формирования табл.1с.*

Процедура для амплитуд взаимодействия соответствует {1}–{3}, (5.3) и поясняется на рис. 3а, где позиции ΔБВ и ΔДВ представлены как над, так и под осью.

Сюда, во-первых, из табл. 1а без изменений переносятся позиции протоструктуры ΔБВ=3,819 и ΔДВ=6,180 , а также элементы триады ΔДВ 6,909 – 7,071 – 7,236. Во-вторых, позиции ΔБВ=2,114 и ΔДВ=1,527 заменяются согласно **{**3**}** и (3.1) ближайшими позициями ЖК 2 и 1,618 соответственно. Все указанные позиции выделены. Узлы в левой вертикали ΔДВ различаются на порядок, т.е. имеется указание на цикличность (5.1).

После этого по правилу (1.1) достраиваются остальные позиции ΔДВ, и в центре рис.3а выставляется триада расщеплений $\bar{\Delta}$ 1,25 – 5 – 20. Затем при использовании (1.1) достраивается центральная вертикаль ΔБВ, и к ней применяются полученные значения $\bar{\Delta}$. Сказанное означает, что ΔБВ и ΔДВ формируются по одному сценарию согласно (5.4). Видно, что в миникомплексе ΔБВ диагональные элементы обратимы, т.е. он согласно <3.4> относительно устойчив.

Представленные в табл. 1a основания 0,268 – 0,291 – 0,316 (см. центральную вертикаль) также корректируются, как это показано на рис. 3b (см. ⇒). Здесь узел 0,282 формируется (см. ←) согласно (3.1) как база триады с крылом 0,2 при Δ=2. В то же время узел 0,323 формируется согласно **{2}** как крыло при базе $1/(1+\alpha^2)$=0,723 и втором крыле 1+α=1,618 при Δ=5. Соответствующие (3.1) узлы ЖК здесь выделены. Рассмотрим причины, по которым выбор именно таков.

Оценка нижней границы. В табл. 1c нижняя граница представлена целиком, при этом основания соответствуют рис.3b (см.**o**), а ΔБВ и ΔДВ – рис. 3a. Остальные узлы достроены согласно (1.1). Видно, что совпадают крайние позиции в левой вертикали (они выделены), т.е. выполняется критерий <3.6>**.** Также совпадают соединённые стрелками узлы в базе и крыльях, что соответствует (3.2) и (2.3); направленность стрелок условна. Пунктирной стрелкой соединены узлы центральной и правой вертикалей (см. 0,213 и 0,210) с рассогласованием 1,6%. Зарождение указанных связей отмечено пунктирными стрелками в табл.1a. В целом совместимость узлов возрастает, в частности, граница демонстрирует устойчивость согласно (3.5).

8. СБОРКА КАРКАСА: ПРЕОДОЛЕНИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ (ЭТАП B, ТАБЛ. 1B).

Компромисс между границами достигается в табл. 1b следующим образом. В табл. 1a и 1c позиции ΔДВ 6,180 – 6,909 – 7,725 совпадают, что трактуется согласно (3.2) как их стабилизация в верхнем крыле каркаса; эти позиции переносятся в табл. 1b. Указанная стабилизация исходно была реализована в крыле расщеплений в табл.1a. На основании (2.5) стабилизируются позиции оснований 0,213 – 0,302 – 0,427 в базе табл. 1c, (см. центр); они переносятся в базу табл.1b (см. центр). Названные переносы соответствуют (5).

Сравнение аналогичных позиций в табл. 1a и 1c показывает, что пять из них различаются минимальным образом и одинаково при Δ=1,0056, т.е. выполняется (3). Эти отмеченные знаком * позиции объединяются в табл.1b согласно (1.1). Далее согласно (3.3) сохраняется выявленное в табл.1c совпадение (см. стрелку справа), т.е. выставляется полученное после объединения основание 0,806 в базе правой вертикали. Остальные узлы достраиваются на основе (1.1).

Оценка базового варианта. В результате можно видеть, что в табл. 1b выполняются следующие критерии и правила: <3.6> – см. выделенные узлы в левой вертикали; <3.5> – см. ΔБВ в диагональных позициях, (5.4) – сценарий легко реконструируется и здесь не приводится. Также демонстрируют совместимость и соответствуют (3.2) узлы, объединённые стрелками в левой вертикали. Рассогласование узлов, близких к 0,213 (см. пунктирную стрелку) снижается здесь до 0,16%.

Табл. 1b содержит основной результат исследования и представляет каркас комплекса. Верхнее крыло каркаса согласно <3.7> устойчиво. Выделенная здесь позиция 0,274 в пределах 0,2% совпадает с позицией МК $(1+\alpha^2)^{-4}$ =0,274164, представленной на рис. 1d. Ликвидация указанного рассогласования не входит в задачу работы. В модельном представлении МК за счёт совпадений объединяет согласно (3.2) границы системы [6], каркас комплекса и узел k=1 – начало отсчёта, как это показано

на рис. 2d. Выполняется (1.3), при этом узлы нижнего крыла каркаса устойчивы как центры симметрии.

9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Оценка схемы. В работе сформулированы правила, на основе которых возможна уникальная группировка исходных элементов спектра разрешенных состояний. Спектр задан протоструктурой – первичной, по предположению, сетью отношений, которая состоит из двух компонент, а они в свою очередь составлены из циклов – повторяющихся наборов отношений. Процесс приводит к образованию каркаса комплекса - устойчивой конфигурации с многочисленными связями. Каркас представлен в компактной форме как результат предельного упрощения схемы при сохранении её специфики. В нём нельзя изменить какую-либо позицию, не изменив при этом все остальные. По нашему мнению, поиск оказывается результативным, если при выборе принимается установка на уникальность.

Узлы табл. 1 могут быть интерпретированы как позиции параметра порядка n. При этом мы считаем, что в табл. 1b базовые позиции каркаса (3 строки в центре) играют роль центров симметрии. При учёте правила (4.2) интерпретируются только *max* и *min* удалённые от базы позиции в строках, которые отмечены символами C, Hl, Ch и S. В таком случае при использовании схемы применительно к Солнечной системе можно показать, как формируется радиус Солнца, большой солнечный цикл [2], орбиты Хирона и кометы Галлея, а также пояс астероидов. Возможен анализ расщепления нижнего крыла каркаса при анализе БВ в соответствии с рис. 2d. Интерпретация крыльев позволяет определить временные границы эпох максимума и минимума для 11-летнего цикла.

Основное достижение. Предложена новая точка зрения на процесс появления эволюционной зрелости в сложной самоорганизующейся системе, которая лишена специфики. Рассмотрена одна из ветвей эволюции её спектра разрешенных состояний. Показано, как в результате взаимодействия двух циклов протоструктуры указанный спектр деформируется. Предложен способ преодоления неустойчивости при формировании каркаса – основы комплекса. Представлен каркас, состоящий из 27 позиций, которые объединены разнообразными связями и относительно устойчивы. Кратко описаны последующие этапы эволюции каркаса, которые приводят к эволюционной зрелости собственно комплекса.

Сопоставление модели с работами других авторов представляется затруднительным, поскольку структурный подход к проблемам эволюции только зарождается.

Автор выражает глубокую признательность В.Ю. Александровой и Ю.В. Томашевичу за помощь при подготовке рукописи к публикации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вейль Г. Симметрия. – М.: Наука, 1968. – 192 с.

2. Иванов-Холодный Г.С., Чертопруд В.Е. Солнечная активность // Итоги науки и техники. Сер. Исследование космического пространства. – М.:ВИНИТИ АН СССР, 1990. – Т.

33. – С. 3-99.

3. Карери Дж. Порядок и беспорядок в структуре материи. – М: Мир, 1985. – 232с.

4. Минский М. Фреймы для представления знаний. – М.: Энергия, 1979. – 154 с.

5. Смирнов В.Л. Анализ эволюции дискретных спектров для сложных систем различной природы // Сложные системы. – 2016. – № 2(19). – С. 70 – 83.

6. Смирнов В.Л. Формирование параметра порядка при эволюции неспецифической сложной системы // Сложные системы. – 2016. – № 3(20). – С. 79 –92.

7. Сороко Э.М. Структурная гармония систем. – Минск: Наука и техника, 1984. – 264 с.

8. Хакен Г. Синергетика. – М.: Мир, 1980. – 383 с.

9. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. – М.: Мир, 1979. – 279 с.

10.Haken H., Knyazeva H. Arbitrariness in Nature: Synergetics and Evolutionary Laws of Prohibition // Journal for General Philosophy of Science. – 2000. – vol. 31, no. 1. – pp. 57-73.

FORMATION OF A COMPLEX DURING EVOLUTION OF A COMPLEX SELF-ORGANIZED SYSTEM

Smirnov V.L. (Cand. Sci. (Physics and Mathematics))

St.Petersberg, Russian Federation

VladimirL.Smirnov@yandex.ru

Abstract. In this paper we consider an evolutionary branch of a previously suggested proto-structure. The latter is understood as an instrument for self-organization of objects regardless of their nature that is presented on the number axis and presumably models general space-time properties. The proto-structure comprises two components which in their turn consist of cycles, i.e. systematically repeated sets of relations. The cycles are made of nodes, i.e. separate allowed states connected by certain rules. Presence or establishment of links between components, cycles or nodes is understood as their interaction. The paper suggests principles, rules and criteria of stability for node formation. We regard interaction of two proto-structure cycles resulting in the formation of a node complex, whose stable part is called a frame. Instabilities, i.e. boundaries of the frame formation and the frame itself, consisting of a base and two wings – a stable and a variable one, are analyzed. The model does not include adjustment parameters and is focused on the identification of rigid links between the frame nodes: a change in the position of a node leads to deformation of all other nodes of the group. The frame represents a stable set of positions allowing further evolution. It is shown that a row of the obtained frame elements can be interpreted as a range of allowed states for the system order parameter while other positions act as centers of symmetry. In particular, the scheme can be applied to explain the mechanism of the solar radius formation and length of the activity cycle on its surface on the ecliptic plane.

Key words: complex systems, self-organization, evolution, order parameter cycle

R E F E R E N C E S

1. Weyl H. Symmetry. Princeton, New Jersey*:* Univ. Press, 1952, 376 p.

2. Ivanov-Holodnyj G.S., Chertoprud V.E. Solnechnaja aktivnost'. Itogi nauki i tehniki. Ser. Issledovanie kosmicheskogo prostranstva [Solar activity. Results of science and technology. Ser. Space exploration] M.: VINITI AN SSSR, 1990, vol. 33, pp. 3-99.

3. Careri G. Order and Disorder in Matter. N.Y.: The Bengamin/Cumings Inc, 1984, 162 p.

4. Minsky M. Frames for knowledge representation. N.Y.*:* Ed. H. Winston, McGraw-Hill, 1975, 76 p.

5. Smirnov V.L. Analysis of Discrete Spectra of Evolution Paths for Various Complex Systems. *Slozhnye sistemy – The complex systems*, 2016, no. 2(19), pp. 70 – 83.

6. Smirnov V.L. Order Parameter Derivation from Evolution of Non-Specific Complex System. *Slozhnye sistemy – The complex systems.* 2016, no. 3(20), pp. 79 –92.

7. Soroko Je. M. Strukturnaja garmonija sistem [Structural harmony of systems] Minsk: Nauka i tehnika, 1984, 264 p.

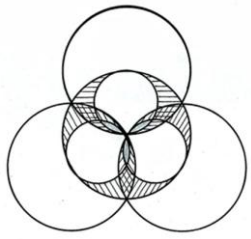
8. Haken *H.* Synergetics. N. Y.: Springer-Verlag, 1983, 356 p.

9. Ebeling, W. Irreversible processes and selforganization. Leipzig: Teubner Verlag, 1989, 256 p.

10.Haken H., Knyazeva H. Arbitrariness in Nature: Synergetics and Evolutionary Laws of Prohibition. *Journal for General Philosophy of Science*, 2000, vol. 31, no. 1, pp. 57-73.

УДК 167.0; 523.2

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КОМПЛЕКСА, СФОРМИРОВАННОГО В СЛОЖНОЙ САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЕ



Смирнов В. Л. (к. ф.-м. н.)
Санкт-Петербург, РФ
VladimirL.Smirnov@yandex.ru

Аннотация. Рассматривается интерпретация позиций каркаса комплекса, сформированного в сложной самоорганизующейся системе. Каркас понимается как устойчивая часть комплекса, основой формирования которого служит протоструктура. Последняя является двухкомпонентным образованием, состоит из циклов, задаёт спектр разрешенных состояний на числовой оси и, предположительно, является первичной для разных природных систем. В частности, протоструктура формирует параметр порядка системы. Каркас представляет собой геометрическую схему, составленную из 27 позиций числовой оси и наделённую многочисленными связями. Позиции каркаса интерпретируются с помощью параметра порядка. В приложении модели указанный параметр трактуется как относительный момент количества движения в плоскости эклиптики Солнечной системы. Предлагается объяснение механизма формирования радиуса Солнца, базы изменчивого (скрытого) 11-летнего цикла солнечной активности, а также устойчивого цикла 27 дней. Одновременно анализируется формирование орбит двух тел, а именно кометы Галлея и Хирона. Каркас понимается как ключевая часть системы и база для исследования пространственно-временной структуры солнечной активности. Подгоночные параметры не применяются, модельные результаты соответствуют наблюдательным данным в пределах 0,1%.

Ключевые слова: цикл, самоорганизация, параметр порядка, радиус Солнца, солнечная активность, комета Галлея, Хирон

1. ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.

Характеристика ситуации. При исследовании сложных самоорганизующихся систем [13] существуют многочисленные логические проблемы. К ним [10] относятся выбор неслучайных модельных оснований, их группировка, а также интерпретация результатов, когда смыслов может быть несколько, и приходится обращаться к лингвистической логике. Так, например, процедура формирования [6, 11, 13] параметра порядка явно относится к группировке, в ходе которой одна (вторичная) характеристика подчиняет себе две других (первичных) характеристики. Очевидно также, что любой выявленный в общем виде [14] спектр разрешенных состояний нуждается в интерпретации.

В [10] для структуры - совокупности отношений предложен способ выбора оснований и их группировки, в результате чего сформирована протоструктура - первичный, по замыслу, набор отношений, который состоит из двух циклических компонент и наделён высокой степенью симметрии. В частности, позиции протоструктуры читаются одинаковым образом как над осью (слева направо), так и под ней (справа налево). Исследованы ветви последующей эволюции протоструктуры, а именно [11] сформирован параметр порядка и [12] рассмотрен начальный этап сборки комплекса - итога взаимодействия двух циклов протоструктуры. Результаты этой группировки нуждаются в объяснении.

К сказанному следует добавить, что существуют насущные задачи, связанные с практикой наблюдений. Одной из них является объяснение [5] большого солнечного цикла – совокупности физических явлений, регистрируемых на поверхности Солнца и включающих т.н. скрытый 11-летний и 27-дневный (кэррингтоновский) циклы солнечной активности. Мы рассчитываем на основе модели комплекса рассмотреть структурный аспект указанных явлений.

Объект исследования. В работе анализируется интерпретация - логическая процедура наделения смыслом каркаса – наиболее устойчивой части комплекса. Каркас представляет собой сеть – геометрическую конструкцию, которая состоит из разрешенных состояний, наделена многочисленными связями и лишена специфики конкретных объектов природы. Он является результатом эволюции протоструктуры и может разворачиваться далее, образуя более сложную систему отношений - собственно комплекс.

Интерпретация делится на этапы – три ступени осмысления. Для понимания процесса нам представляется уместной аналогия с триадой [4] *принципы симметрии* → *законы* → *события*, которая рассматривается в обратном направлении. На I этапе каркас [12] представляется и воспринимается как сеть, состоящая из узлов и связей и наделённая высокой симметрией. На этапе II выявляются закономерности: позиции каркаса связываются с параметром порядка n; здесь начинается собственно интерпретация. В ходе III этапа интерпретируется уже сам параметр n и подчинённые ему характеристики; в этом случае анализируются конкретные события в Солнечной системе. Нетрудно видеть, что на этапе III мы имеем дело с интерпретацией интерпретации.

Задача работы состоит в следующем. 1. Предложить и обосновать интерпретацию позиций каркаса на основе параметра порядка. 2. Продемонстрировать применимость предлагаемой схемы на примере поверхности Солнца в плоскости эклиптики. Определить и установить связность таких характеристик, как радиус Солнца, продолжительность 27-дневного цикла, средняя продолжительность 11-летнего цикла солнечной активности, орбита кометы Галлея и орбита Хирона. Сравнить модельные позиции и наблюдаемые характеристики. 3. Охарактеризовать каркас как возможную базовую модель для исследования пространственно-временной структуры солнечной активности, указав при этом на эволюционные возможности модели.

Предлагаемое решение. Для предметной интерпретации выбираются позиции каркаса, отвечающие принятым правилам; остальные позиции продолжают рассматриваться как центры симметрии. Для выбранных позиций соблюдается симметричный план: одни из них читаются над осью слева направо, а другие – под осью справа налево. Все выделенные позиции интерпретируются с помощью параметра порядка n. При этом для него вводится специализация: отдельная позиция n отвечает только за конкретную позицию одной из подчинённых характеристик. В приложении роль параметра порядка отводится относительному моменту количества движения, которому подчинены первичные характеристики – расстояния и периоды обращения. Интерпретация осуществляется прямо без каких-либо подгоночных процедур.

2. ПРОТОСТРУКТУРА И ПАРАМЕТР ПОРЯДКА.

Протоструктура [10] состоит из двух компонент – жесткой (ЖК) и мягкой (МК), которые сформированы из циклов – систематически повторяющихся наборов отношений. Циклы в свою очередь состоят из узлов – отдельных разрешенных состояний, связанных определёнными правилами. Варианты исходной группировки узлов на числовой оси, которые используются в настоящей работе, показаны на рис.1.

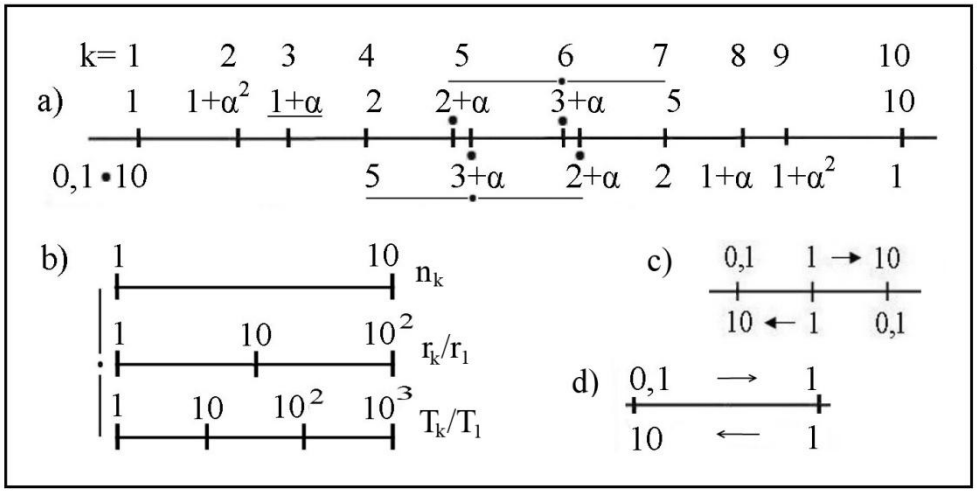


Рис. 1. *Группировка: a) узлов в пределах одного цикла жесткой компоненты (ЖК) протоструктуры; b) циклов ЖК при формировании параметра порядка n_k, здесь r_k/r_1 и T_k/T_1 - первичные характеристики; c) двух циклов ЖК вблизи 1; d) циклов ЖК, используемая при интерпретации каркаса комплекса. Циклы в b), c) и d) представлены только границами, $\alpha^{-1} \equiv 1+\alpha=1{,}618...$ – золотое сечение.*

На рис. 1a представлен один цикл ЖК, где $\alpha^{-1} \equiv (1+\alpha) \equiv (1+\sqrt{5})/2 = 1{,}618\ldots$ – золотое сечение. Он содержит 10 узлов с номерами k=1–10, его диапазон равен 10. Позиции оси в цикле 1:10 читаются над осью слева направо, а в цикле 0,1:1 под осью – справа налево; наборы отношений в пределах указанных циклов совпадают. Часть позиций здесь не обозначена, а узлы k=5 и 6 расщеплены. Структура циклов воспроизводится в левом и правом направлениях. МК мы здесь не представляем, поскольку она в проводимом анализе не участвует.

Параметр порядка [11]. Допускается, что две задаваемые ЖК произвольные относительные характеристики r_k/r_1 и T_k/T_1 объединяются с образованием параметра порядка n_k, который задаётся аналогичным образом. При этом границы трёх циклов T_k/T_1 и двух циклов r_k/r_1 совмещаются и совпадают с границами одного цикла n_k. Ситуация иллюстрируется без деталей на рис.1b, где циклы расположены на уровнях *n – r – T*. На границах циклов имеет место связь вида $(r_k/r_1)^2 = n_k*(T_k/T_1)$, которая распространяется на все k-узлы:

$$r_k = n_k^2 r_1 = n_k^2 \alpha^2 r_3 \qquad n_k = \left(\frac{r_k}{r_1}\right)^2 \frac{T_1}{T_k} \qquad (1)$$

$$T_k = n_k^3 T_1 = n_k^3 \alpha^3 T_3 \qquad \frac{r_3}{r_1} = \left(\frac{n_3}{n_1}\right)^2 = (1+\alpha)^2 = \alpha^{-2} \qquad \frac{T_3}{T_1} = \alpha^{-3}$$

Здесь нормировка r_k и T_k представлена в двух вариантах. Вариант, ориентированный на k=3, удобен для приложения, которое рассматривается в разделе 4. В схеме на рис.1b [11] допускается введение других уровней, расположенных выше и ниже представленных.

Анализируемые циклы. Каркас [12] является результатом взаимодействия двух циклов протоструктуры, которые представлены слева и справа от начала отсчёта на рис.1c. В настоящей работе используется левая часть схемы, т.е. цикл 1:10 рассматривается под осью и читается справа налево, как это показано на рис. 1d.

3. МЕТОДИКА.

Тринитарность. Интерпретация каркаса комплекса не является ординарной процедурой и требует учёта ряда обстоятельств. Здесь коснёмся только детализации нескольких положений, которые [10, 11] подробно рассмотрены ранее. Основой подходя является тринитарность – общая точка зрения на структурные события. В триаду вида *A - B - C* может быть вложено как качественное, так и количественное содержание. В последнем случае используется связь вида $B^2=AC$. Позиция *B* именуется базой группы и обозначается точкой, а *C* и *A* считаются её крыльями, которые символизируются концами линий, которые расходятся от базы. Элементы триад выделяются в тексте курсивом. Принимаются обозначения, которые удобны для приложения.

Дополнительность понимается как противопоставление *A* и *C*. Например, дополнительны направления *слева направо* и *справа налево*, они рассматриваются *над* и *под* числовой осью соответственно. Далее верхнее и нижнее крылья каркаса выступают как элементы оппозиции; с верхним крылом связывается *устойчивость*, а с нижним - *изменчивость*. При этом нижнее крыло каркаса устойчиво как набор центров симметрии. Предполагается, что в указанном крыле все изменения, ориентированные на поиск совместимости, происходят вокруг этих центров.

Разрешенные позиции взаимодействуют, т.е. между ними устанавливаются правила и реализуются связи. Взаимодействие, рассматриваемое в схеме по горизонтали именуется дальним (ДВ), а по вертикали – ближним (БВ).

Совместимость более всего касается базы *B*. На количественном уровне она проявляется [12] как совпадение целого ряда позиций в пределах каркаса. В качественном плане совместимость демонстрируют *левое* и *правое* направления, которые рассматриваются как единое целое.

Уникальность трактуется как принцип, помогающий в случае неопределённости при выборе. На его основе осуществляется специализация позиций параметра n, а также в пределах каркаса выделяются позиции для интерпретации, как это будет показано ниже.

Специализация позиций параметра порядка n. При интерпретации каркаса вместо симметричного плана, характерного для левого и правого направлений, появляется дисимметрия – своего рода специализация. Это значит, что соотношения (1) соблюдаются частично: отдельная позиция n_k задаёт только r_k/r_3 или только T_k/T_3. В

таком случае вместо n_k используются обозначения вида $n_k(r_k)$ или $n_k(T_k)$ соответственно. Если позиция $n_k(r_k)$ расщепляется на компоненты, то они обозначаются как $n_k(d_k) – n_k(b_k) - n_k(c_k)$ и задают согласно (1) такие варианты r_k , как $d_k – b_k – c_k$. . Нетрудно видеть, что здесь вместо универсальности (1) появляется своего рода уникальность. При этом выполняются введённые [12] при формировании каркаса условия: (2.1) – Правила распределяются по узлам, реализуется своего рода специализация и {4**}** – *Уникальность* – предпочтение отдаётся уникальным позициям. Интерпретация каркаса поясняется на рис. 2.

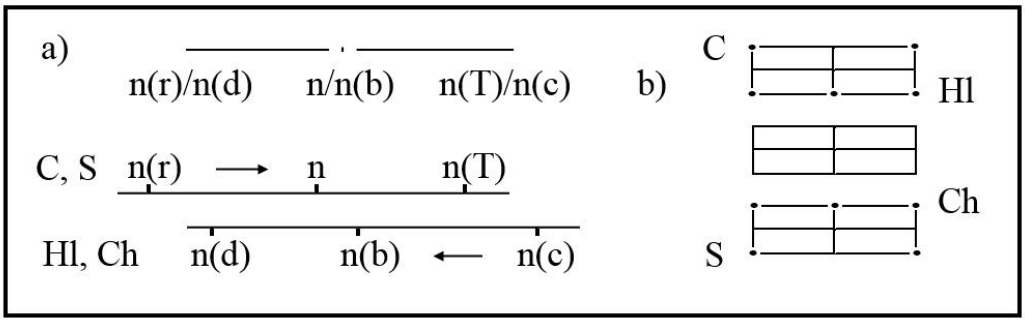


Рис.2. *Интерпретация каркаса: a) детализация позиций параметра порядка* n *и b) выбор позиций для интерпретации в пределах каркаса. Символы поясняются в тексте.*

Мы предполагаем, что указанные связи реализуются на основе триады в двух вариантах, как это показано на рис. 2a. Первый вариант представлен в средней строке, где база *n* имеет крылья *n(r)* и *n(T)*; здесь позиции читаются над осью слева направо (см.→). Принимается допущение, что в пределах каркаса такая ситуация реализуется в строках C и S. Во втором варианте, который поясняется в нижней строке, крылья *n(d)* и *n(c)* объединены базой *n(b)*; в этом случае позиции читаются справа налево под осью (см.←). Предполагается, что ситуация реализуется в строках Hl и Ch.

Запись вида n(r)/n(d) или n(T)/n(c) представлена в верхней строке рис. 2a. Она указывает на то, что позиции читаются в одной строке над осью, а в другой строке под осью и задают соответственно r и d или T и c. Указанная запись размещается над каркасом.

Выбор значимых позиций. Обратимся к рис. 2b, чтобы решить, какие именно позиции каркаса следует интерпретировать. Здесь каркас представлен [12] в виде трёх миникомплексов. Напомним, что миникомплексом называется группа из 9 узлов, которые связаны правилом $B^2=AC$ как в ДВ, так и в БВ. Здесь дальнее взаимодействие (ДВ) это – отношения, которые рассматриваются по горизонтали, а ближнее (БВ) – отношения, реализуемые по вертикали (они в каркасе обозначаются частично). Далее ориентируемся [12] на правило (4.2) – Выделяются уже имеющиеся узлы, узлы, которые формируют *min*- вариант, например, ближайшие узлы, либо *max*-вариант, когда узлы предельно удалены друг от друга. Центральный миникомплекс рассматриваем как совокупность центров симметрии, после чего выбираем при учёте рис.2a выделенные точками позиции. Обозначаем строки символами, как и на рис. 2a; в строках C и S базу не выделяем.

4. КАРКАС КОМПЛЕКСА.

Каркас комплекса [12] представлен в таблице 1b.

Таблица 1. Каркас комплекса: b) модельный результат; d) результат реконструкции по наблюдательным данным. Для a) – d) характер связей одинаков и поясняется на примере d) (см. —•—). Строки отмечены символами, которые поясняются в разделах 3 и 4.

	n(r)/n(d)		n/n(b)		n(T)/n(c)		ΔДВ	
	——— · ———							
								b)
C	**0,110247**	1,059	**0,274079**	1,184	0,681369		1,25	6,180339
	0,107298		0,282051		0,741415			6,909830
	0,104428		0,290254		0,806753	**Hl**		7,725424
	0,119963	Δ=2	0,213927		**0,381490**		Δ=**5**	3,180049
	0,113454		0,302539		0,806752			7,110804
	0,107298		0,427855		1,706074 □			15,90024
1/1.184	0,130535	3,777	0,166976		0,213591	**Ch**	**20**	1,636271
	0,119963		0,324514		0,877849			7,317627
S	**0,110247**		0,630685		3,607910			32,72542
								d)
C	**0,110363**	1,058	0,274221	1,183	**0,681358**		1,250	6,173750
	0,107380		0,282145		0,741346			6,903948
	0,104477		0,290298		**0,806617**	**Hl**		7,720499
	0,120080	Δ=2	0,214001		0,381384		5,002	3,176076
	0,113552		0,302644		0,806617			7,103451
	0,107380		0,428004		1,705971			15,88722
1/1,183	0,130652	3,778	0,167006		0,213476	**Ch**	20,00	1,633928
	0,120080		0,324632		0,877630			7,308727
S	0,110363		0,631028		3,608063			32,69268

Здесь мы для единообразия сохраняем имевшиеся ранее обозначения. Многочисленные связи не поясняются, поскольку они уже подробно рассмотрены, и, кроме того, нам здесь не понадобятся. Четыре строки из девяти обозначены символами согласно рис. 2b; их элементы интерпретируются согласно рис. 2a в верхней части таблицы. Строки C - Hl образуют верхнее (устойчивое) крыло каркаса, а строки Ch - S составляют основу его нижнего (изменчивого) крыла. Вертикальными стрелками объединены совпадающие узлы; пунктир указывает на приблизительное совпадение

5. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ УЗЛОВ КАРКАСА.

Приложение. Объектом применения модели является [11, 12] структура Солнечной системы и этапы её эволюции в плоскости эклиптики. Допускается, что параметр порядка n_k есть относительный момент количества движения. Его введение

понимается как однопараметрический анализ пространственно-временной структуры системы. Роль первичных характеристик $r_к/r_З$ и $T_к/T_З$ играют расстояния и периоды обращения; $r_З$= а.е.=1,4960*10^{11} м., $T_З$=365,2564 сут.

При этом k=1 соответствует орбите Меркурия, k=10 – Плутона, а k=3 – Земли. В простейшем случае кругового движения n_k есть площадь, описываемая точкой (телом) в единицу времени, которая отнесена к нормировочному значению.

Модельные результаты. Рассмотрим табл. 1b. В строках C и S узлы читаются над числовой осью слева направо как n(r) – n – n(T). В строке C позиция n(r) задаёт радиус Солнца, а n(T) – период 27-дневного (кэррингтоновского) цикла солнечной активности. В строке S позиция n(r) задаёт также радиус Солнца, а n(T) – среднюю продолжительность 11-летнего цикла солнечной активности. В строках Hl и Ch узлы читаются под осью справа налево как n(c) – n(b) – n(d). Здесь позиция n(c) задаёт перигелий c, n(b) – малую полуось b, а n(d) – афелий d орбиты кометы Галлея (1P/Halley**)** при обращении к строке Hl и тела Хирон (2060 Chiron, 95P/Chiron) при обращении к строке Ch. Остальные позиции трактуются как центры геометрической симметрии.

Сравнение модельных и наблюдательных данных. Согласно табл. 1b и соотношениям (1) модельный радиус Солнца r=4,642*10^{-3} $r_З$ (n=0,110247) соответствует наблюдаемому [2] $r_о$=6,96*10^5 км.= 4,652*10^{-3} $r_З$ в пределах 0,2%. Расчётное значение малого цикла T= 27,276 сут. (n=0,681369) и наблюдаемое [2] T=27,275 сут. не различаются в пределах 0,004%.

Базовое значение 11-летнего цикла в модели T=11,08668$T_З$ (n=3,607910) совпадает с известными из оценок величинами a) T=(11,08±0,35)$T_З$ [5] и b) T=(11,097±0,005)$T_З$ [7]. Для кометы Галлея табл. 1b даёт значения n(c)=1/0,806752=1,239537, n(b)=1/0,290254=3,445258 и n(d)=1/0,104428=9,575976, которым соответствуют c=0,586872$r_З$, b=4,533862$r_З$ и d= 35,02602$r_З$. Эти расстояния в среднем в пределах 0,05%. не отличаются от результатов измерений [2] c=0,5871$r_З$, b=4,5325$r_З$ и d=34,993$r_З$. Орбита Хирона классифицируется [9] как единственная в системе неустойчивая (хаотическая). Базовые характеристики орбиты c=8,36$r_З$ (n=1/0,213=4,68) и d=22,41$r_З$ (n=1/0,130=7,66) близки к приведённым в [9] c=8,51$r_З$ и d=18,90$r_З$, в частности, перигелии совпадают в пределах 1,8%. Наблюдаемая орбита находится в модельных границах. Если принять n(T)=n(b), то модельный период обращения Хирона составляет 50,708$T_З$ (n=5,989 – в базе) и совпадает с известным [9] 50,7 года в пределах 0,02%.

Следует отметить, что схема не объясняет образование позиции n(T) для кометы Галлея. Это значит, что в ней скрыты связи, которые ещё предстоит выявить. Возможно, в строке Hl под осью формируется триада 6,854101 - 2,618033 - 1 и левая её позиция задаёт n(T) и T/$T_З$=76,01314T. Период обращения кометы Галлея [2] меняется от 75 до 76 лет.

6. АНАЛИЗ В СТРОКЕ C (ТАБЛ. 1B).

Анализ в строке C проводится дополнительно с намерением выявить единый n-узел и включить его в соотношения (1). Структурная ситуация поясняется на рис. 3.

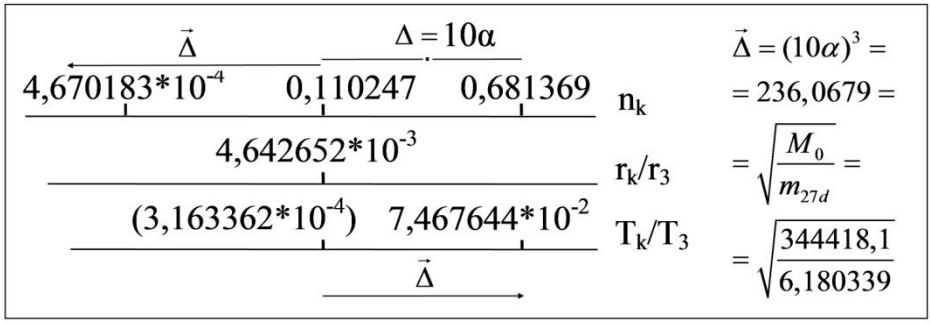


Рис. 3. *Анализ трансформации узлов на уровнях n - r- T (строка C в табл.1b). Направления сдвигов $\vec{\Delta}$ обозначены стрелками, α^{-1}=1,618…- золотое сечение. В приложении схема моделирует процесс формирования радиуса Солнца (на r-уровне), периода 27-дневного цикла солнечной активности (на T-уровне справа) и соответствующего им значения параметра порядка (на n-уровне слева). Масштаб условный.*

Здесь слева на уровнях n – *r* – *T* расположены узлы, представлены связи, а также сдвиги $\vec{\Delta}$, которые обозначены стрелками; значение $\vec{\Delta}$ указано справа. На n-уровне расположены узлы $n(r_0)$=0,110 и $n(T_{27d})$=0,681 при диапазоне Δ=10α=6,180. Они перенесены сюда из строки C табл.1b, дополнительные индексы здесь добавлены, как удобные для приложения. Под n-узлами размещены отвечающие им согласно (1) первичные характеристики $r_0/r_3=4{,}642*10^{-3}$ и $T_{27d}/T_3=7{,}467*10^{-2}$. На T-уровне добавлена позиция $3{,}163*10^{-4}$; она соответствует $n(r_0)$, понимается как точка отсчёта, т.е. не реализуется, заключена в скобки и совпадает с базой цикла $10^{-4}\sqrt{10}$ в пределах 0,03%.

В качестве основы поиска выберем триаду узлов в центральной вертикали. Нетрудно убедиться, что на T-уровне в процессе эволюции происходит сдвиг узла $\vec{\Delta}=(10\alpha)^3$ вправо, что и зафиксировано на рис.3 справа. Указанное выражение выбрано из соображений простоты, оно соответствует реальному в пределах $5*10^{-4}$ %. Основой поиска узла на n-уровне является симметричный план, согласно которому здесь также имеет место сдвиг узла $\vec{\Delta}$, но влево. В таком случае реализуется узел n и согласно (1) соответствующие ему (предположительно) позиции r_0/r_3 и T_{27d}/T_3

$$n_{27d}=4{,}670*10^{-4}\ ;\ r_0/r_3=4{,}642*10^{-3}\ ;\ T_{27d}/T_3=7{,}467*10^{-2} \qquad (2)$$

Для дальнейшего продвижения мы обращаемся к общим соображениям и предполагаем, что: a) любой элемент k, представленный на рис.1a характеризуется масштабным коэффициентом вида m_k/m_1; b) перечень элементов k может быть расширен; максимальный коэффициент обозначается M_0/m_1; c) любой элемент k может, в принципе, иметь подсистему – набор сателлитов, каждый из которых включается в (1) с помощью отношений вида M_0/m_k.

Тогда узлы (2), назовём их для общности $n_i - r_i - T_i$, могут быть отнесены к подсистеме и включены в систему отношений (1):

$$r_i = n_i^{\,2}\frac{M_o}{m_k}\alpha^2 r_3 \qquad T_i = n_i^{\,3}\left(\frac{M_o}{m_k}\right)^2\alpha^3 T_3 \qquad \left(\frac{r_i}{r_3}\right)^3\frac{M_o}{m_k}=\left(\frac{T_i}{T_3}\right)^2 \qquad (3)$$

Здесь n_i, r_i/r_3 и Ti/T_3 – аналоги n_k, r_k/r_3 и T_k/T_3 в (1); индексом *i* обозначены отдельные узлы в подсистеме узла k. Подстановка (2) в (3) показывает, что $M_0/m_{27d}=(\vec{\Delta})^2=(10\alpha)^6=55728{,}042$; здесь $m_k=m_{27d}$.

Мы предполагаем, что схема на рис. 1b может быть дополнена уровнями m и M. Тогда возможна их последовательность n - r - T - a - f - m - M. При этом a-уровень [11] уже введён, а коэффициенты m_k/m_1 и M_0/m_1 размещаются соответственно на уровнях m и M, при этом на M-уровне реализуется единственная максимальная позиция. Уровень f нами не анализируется, однако можно предположить, что он связывает уровни a, m и M. Тогда при учёте [11] принятых правил группировки циклов, в частности, имеем

$$m_1=\alpha^6 m_3=0{,}055728 m_3 \qquad (4)$$

$$M_0/m_1=10^7 \qquad M_0/m_3=10^7\alpha^7=344418{,}19 \qquad (5)$$

При подстановке (5) в $\vec{\Delta}$ на рис.3 получаем $m_{27d}/m_3=10\alpha=6{,}18$. Разумеется, приведённые соображения нуждаются в доработке и их следует рассматривать как оценку. Однако, есть основания предполагать, что начальный этап эволюции характеризовался именно отношениями $m_{27d}/m_3=10\alpha=6{,}180$ и (5). В этом случае выражение для сдвига на рис. 3 выполняется тождественно.

7. ОБСУЖДЕНИЕ.

Эволюция слоёв в протопланетном диске. Физическая картина сборки каркаса может быть упрощённо представлена на основании табл.1b, соотношений (1), а также наблюдаемого радиуса Солнца $r_o=4{,}652*10^{-3}r_3$. Исходно слой n=0,1, характеризующийся $r=3{,}819*10^{-3}r_3=0{,}821r_o$ и $T=2{,}360*10^{-4}T_3=124$ мин., смещается до $r=4{,}643*10^{-3}r_3=0{,}998r_o$ (n=0,110) и замедляется, причём в его пределах выделяются две составляющие. Согласно табл.1b первая из них (строка C) увеличивает период до 27,276 сут. (n=0,681), т.е. тормозится в $(0{,}681/0{,}110)^3=(10\alpha)^3=236$ раз и даёт начало малому циклу. Вторая составляющая (строка S) тормозится в $(3{,}607/0{,}110)^3=35048$ раз до периода 11,0867 года (n=3,6079). Так появляется протопятно - основа ведущего пятно-образовательного цикла. Параллельно вытягивается орбита k=8, соответствующая Хирону, и формируется орбита кометы Галлея. После этого протопятно структурируется, и процесс приобретает наблюдаемые формы.

Формула маятника. Рассматриваемый вопрос касается внутренней структуры Солнца, поскольку в модельном представлении замедляется только слой, соответствующий его поверхности. Обсуждаемая в [7] обычная формула маятника $T=2\pi\sqrt{L/g}$, где L – длина, а g – гравитационное ускорение, для параметров Солнца ($L=r_0$) приводит к периоду колебаний ~167 мин. Такое же значение следует [7] из формулы для радиальных колебаний звезды с однородной плотностью. Указанное обстоятельство вызывает затруднения при интерпретации.

В то же время наблюдаемый радиус Солнца r_0 согласно (1) характеризуется значением $n(r_0)=0{,}110363$, которому отвечает период 166,88 мин. Этот период формально соответствует и третьему закону Кеплера. Представляется, что приведённая оценка имеет физический смысл, но даёт период вращения поверхностного слоя без его торможения, т.е. относится к протосолнцу. Можно показать, что в модельном представлении ближайший под поверхностью слой характеризуется $n=0{,}1(1+\alpha^5)$, т.е.

вращается с периодом 160,9 мин. и, вероятно, является причиной наблюдаемых [7] 160-мин. пульсаций.

Реконструкция каркаса проведена по известным фрагментам с тем, чтобы сравнить реальную картину с моделью. Результаты представлены в табл.1d. Узлы верхнего крыла получены на основе (1) при использовании радиуса Солнца, длительности 27-дневного цикла и характеристик орбиты кометы Галлея. Нижнее крыло и база комплекса достроены в предположении: a) равенства узлов, связанных длинными стрелками; b) обратимости диагональных элементов в ΔБВ и c) наличии ΔБВ=2 по центру схемы. Среднее отличие четырёх выделенных в табл.1d устойчивых узлов от их аналогов в табл.1b составляет 0,03%. Основание 11-летнего цикла здесь 0,631028, его продолжительность - 11,088 T_3. Реконструкция ориентирована на тезис [1], согласно которому при моделировании следует продвигаться от наблюдаемого состояния системы к исходному.

Массы. При обращении к Солнечной системе масштабные коэффициенты трактуются как массы. Мы считаем, что начальная масса Солнца имела величину $M_0/m_3=10^7\alpha^7=334418{,}19$, т.е. превышала известное сейчас значение в 1,0043 раза (0,4%). Если использовать известную величину $M_0/m_3=332776$ и $\vec{\Delta}$ на рис.3, нетрудно убедиться, что 27-дневному циклу соответствует масса $m_{27d}/m_3=5{,}975$. Тогда исходная модельная масса 6,180 превышает текущую на 3,3%. Для массы m_{27d}/m_3 нет известного физического аналога, однако её введение позволяет рассматривать 27-дневный цикл как подобие спутниковой системы. Отметим, что при сходной попытке [1] радиус Солнца связывался с “касающейся планетой”, а период обращения поверхности – с “синхронной планетой”.

Последующая эволюция в нижнем крыле каркаса может быть охарактеризована как поиск вариантов согласования за счёт расщепления различных узлов. Перечислим несколько важных в плане приложения моментов:

– реализуются варианты неустойчивости в БВ, которые анализируются вдоль вертикали. При этом нижнее крыло каркаса расщепляется на две размытые составляющие, в результате чего достигается обратимость в диагональных элементах каркаса, дополнительных к уже имеющим (см. табл.1b: 1/1,183 против 1,183). В приложении прослеживается формирование эпох максимума и минимума в пределах 11-летнего цикла солнечной активности;

– реализуются дополнительные варианты неустойчивости в ДВ, которые анализируются по горизонтали; здесь реализуется набор вариантов расщепления. В приложении можно проследить, как формируются разнообразные длинные циклы до ~370 000 лет включительно;

– поиск вариантов согласования ведёт не только к реализации ряда совместимых вариантов, но и к дестабилизации. Выделенный в табл.1b узел 0,381 читается под осью как 2,621. Он попадает в базу каркаса (см. →), а также в пределы представленного на рис.1a узла k=5, который распадается. В приложении анализируется формирование границ и ядра пояса астероидов.

На основании сказанного мы считаем, что форма, которую обретает комплекс в нижнем крыле при последующей эволюции, оказывается размытой.

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Оценка схемы. В настоящей работе предложена новая точка зрения на процесс достижения эволюционной зрелости в сложной самоорганизующейся системе. Она сводится к тому, что при анализе необходимо использовать детализированный параметр порядка. При этом, однако, не следует исключать возможность применения схемы для одной (первичной) относительной характеристики. Мы рассматриваем каркас как фрейм [8] - структуру данных для представления стереотипной ситуации. Указанную структуру путем изменения отдельных деталей можно приспособить для понимания широкого класса явлений или процессов, а также для согласования сведений, относящихся к разным источникам.

Модель демонстрирует высокую эффективность в плане приложения. Например, если обратиться к [12], то можно в терминах n - r - T рассмотреть преодоление неустойчивости при формировании радиуса Солнца и сопутствующих этому радиусу периодов. Для этого достаточно использовать предложенные обозначения в верхней части таблицы 1.

Солнечная система исследуется в разных областях знания, однако в анализе солнечной активности [5] преобладает феноменология. Предлагаемый подход позволяет объединить в сеть пространственно-временные характеристики разнородных объектов системы, выявить происхождение этих характеристик, указать на неизвестные сейчас связи, а также сделать некоторые предсказания. Так, например, мы полагаем, что ~11-летняя активность и поведение Хирона на орбите тесно связаны.

Мы считаем, что представленная в табл.1b схема вполне может служить основой для исследования пространственно-временной структуры циклов солнечной активности. Последовательность структурных оснований для известных циклов может быть выявлена. Возможно, это позволит определить порядок их формирования и систематизировать, что будет полезно для практического использования.

Отметим дополнительно, что отношения (4) соответствуют известным данным о массах Меркурия и Земли, а отношения (3) позволяют включить спутниковые системы планет в (1). При этом правила формирования спектров для спутников предстоит выяснить. Соображения о подчинении 27-дневного цикла связям (3), а также отношения (5) для исходной массы Солнца требуют доработки и осмысления.

Основное достижение. Подробно рассмотрена процедура интерпретации каркаса комплекса - группы устойчивых позиций в спектре неспецифической сложной системы. Показано, как на основе принятых правил осуществляется выбор значимых для приложения элементов спектра. Эти элементы интерпретированы как отдельные и специализированные позиции параметра порядка, задающие в свою очередь спектры подчинённых (первичных) характеристик.

В приложении параметр порядка интерпретирован как относительный момент количества движения в плоскости эклиптики Солнечной системы. Представлен поэтапный сценарий деформации слоёв в протопланетном диске. Проанализирована эволюция двух [5] демонстрирующих единство явлений, а именно устойчивого 27-дневного (керрингтоновского) цикла и характеризующегося изменчивостью (скрытого) цикла длительностью ~11 лет. Предложена базовая модель для исследования циклов солнечной активности на структурной основе. Обоснованы модельные характеристики

орбиты для единственной в системе короткопериодической кометы Галлея. Найдены базовые позиции для орбиты Хирона – единственного в системе тела с хаотической орбитой. Устойчивые позиции каркаса соответствуют наблюдательным данным в среднем в пределах 0,1%.

Сопоставление модели с работами других авторов представляется затруднительным, поскольку структурный подход только зарождается, а физические модели касаются разрозненных проблем и не отличаются достаточной определённостью.

Автор выражает глубокую признательность В.Ю. Александровой и Ю.В. Томашевичу за помощь при подготовке рукописи к публикации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альвен Х., Аррениус Г. Эволюция Солнечной системы. – М.: Мир, 1979. – 500 с.
2. Астрономический календарь. Постоянная часть / под ред. В.К.Абалакина. – М.: Наука, 1981. – 704 с.
3. Вейль Г. Симметрия. – М.: Наука, 1968. – 192 с.
4. Вигнер Е. Симметрия и законы сохранения // Успехи физических наук. – 1964. – Т. LXXXIII, Вып. 4. – С. 729-739.
5. Иванов-Холодный Г.С., Чертопруд В.Е. Солнечная активность // Итоги науки и техники. Сер. Исследование космического пространства. – М.:ВИНИТИ АН СССР, 1990. – Т. 33. – С. 3-99.
6. Карери Дж. Порядок и беспорядок в структуре материи. – М: Мир, 1985. – 232 с.
7. Котов В.А., Левицкий Л.С. Период 160 минут, внутреннее вращение и 11-летний цикл Солнца: свидетельство взаимосвязи // Изв. Крымск. астрофиз. обс. – 1987. – Т. 77. – С. 51-71.
8. Минский М. Фреймы для представления знаний. – М.: Энергия, 1979. – 154 с.
9. Симоненко А.Н. Астероиды. – М.: Наука, 1985. – 208 с.
10. Смирнов В.Л. Анализ эволюции дискретных спектров для сложных систем различной природы // Сложные системы. – 2016. – № 2(19), С. 70 – 83.
11. Смирнов В.Л. Формирование параметра порядка при эволюции неспецифической сложной системы // Сложные системы. – 2016. – № 3 (20). – С. 79-92
12. Смирнов В.Л. Формирование комплекса в процессе эволюции сложной самоорганизующейся системы // Сложные системы. – 2016. – № 4 (21). – С. 71-84.
13. Хакен Г. Синергетика. – М.: Мир, 1980. – 383 с.
14. Haken H., Knyazeva H. Arbitrariness in Nature: Synergetics and Evolutionary Laws of Prohibition // Journal for General Philosophy of Science. – 2000. – vol. 31, no. 1. – pp. 57-73.

INTERPRETATION OF A COMPLEX FORMED IN COMPLEX SELF-ORGANIZED SYSTEM

Smirnov V.L. (Cand. Sci. (Phys.-Math.))
St.Petersberg, Russian Federation
VladimirL.Smirnov@yandex.ru

Abstract. The paper interprets positions of the complex frame formed in a complex self-organizing system. The framework is understood as a steady part of the complex that is formed based on the proto-structure. The proto-structure is a two-component form consisting of cycles and sets the range of allowed states on the number line, and presumably is the primary source for various natural

systems. In particular, the proto-structure generates the order parameter of the system. The frame is a geometric scheme consisting of 27 positions of the number line and having numerous connections. Frame positions are interpreted using the order parameter. When the model is applied, this parameter is regarded as a relative angular momentum in the solar system's ecliptic plane. The paper suggests an explanation of the solar radius formation mechanism, the volatile (hidden) 11-year cycle of solar activity, as well as the sustainable 27-day cycle. At the same time, we analyze the formation of the orbits of two bodies, i.e. Halley's comet and Chiron. The frame is understood as the key part of the system and the basis to study space- time structure of the solar activity. Adjustment parameters are not applied and the model results are consistent with the observed data in the range of 0.1%.

Key words: cycle, self-organization, order parameter, solar radius, solar activity, Halley's comet, Chiron

R E F E R E N C E S

1. Alfven H., Arrhenius G. Evolution of the Solar System. NASA Sp-345, Washington, D.C., 1976.

2. Astronomicheskij kalendar'. Postojannaja chast' [Astronomical Calendar. Permanent part] M.: Nauka, 1981, 704 p.

3. Weyl H. Symmetry. Princeton, New Jersey*:* Univ. Press, 1952, 376 p.

4. Wigner E. Symmetry and Conservation Laws. *Physics Today*, 1964, vol. 17, no. 34, pp. 34-40.

5. Ivanov-Holodnyj G.S., Chertoprud V.E. Solnechnaja aktivnost' . Itogi nauki i tehniki. Ser. Issledovanie kosmicheskogo prostranstva [Solar activity. Results of science and technology. Ser . Space exploration] M.:VINITI AN SSSR, 1990, vol. 33, pp. 3-99.

6. Careri G. Order and Disorder in Matter. N.Y.: The Bengamin/Cumings Inc, 1984, 162 p.

7. Kotov V.A., Levickij L.S. Period 160 minut, vnutrennee vrashhenie i 11-letnij cikl Solnca: svidetel'stvo vzaimosvjazi [The period of 160 minutes , internal rotation , and the 11-year cycle of the Sun : Certificate relationship] *Izv. Krymsk. astrofiz. obs*., 1987, vol. 77, pp. 51-71.

8. Minsky M. Frames for knowledge representation. N.Y.: Ed. H. Winston, McGraw-Hill, 1975, 76 p.

9. Simonenko A.N. Asteroidy [Asteroids] M.: Nauka, 1985, 208 p.

10. Smirnov V.L. Analysis of Discrete Spectra of Evolution Paths for Various Complex Systems. *Slozhnye sistemy – The complex systems*, 2016, no 2(19), pp. 70 – 83.

11. Smirnov V.L. Order Parameter Derivation from Evolution of Non-Specific Complex System. *Slozhnye sistemy – The complex systems*, 2016, no. 3(20), pp. 79 – 92.

12. Smirnov V.L. Formation of a Complex During Evolution of a Complex Self-Organized System. *Slozhnye sistemy – The complex systems*, 2016, no. 4(21), pp. 71-84

13. Haken H. Synergetics. N. Y.: Springer-Verlag, 1983, 356 p.

14. Haken H., Knyazeva H. Arbitrariness in Nature: Synergetics and Evolutionary Laws of Prohibition. *Journal for General Philosophy of Science*, 2000, vol. 31, no. 1, pp. 57-73.